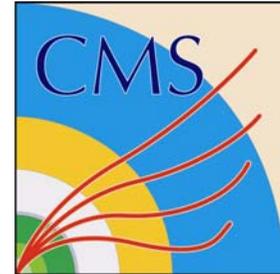


# Calibrazione ATLAS e CMS

(quanto possono influire sui primi risultati di fisica)



Carminati Leonardo – Govoni Pietro  
(INFN e Università' di Milano – Milano Bicocca)



- Introduzione: la fisica ad LHC e i calorimetri di ATLAS e CMS
- Parte I : ricostruzione dei segnali nei calorimetri
- Parte II : ricostruzione degli oggetti fisici
  - Ricostruzione e calibrazione di elettroni e fotoni
  - Ricostruzione e calibrazione di pioni e jets:
  - Ricostruzione e calibrazione del momento mancante
- Parte III (*Discussione*) : performance al D-Day, primi dati

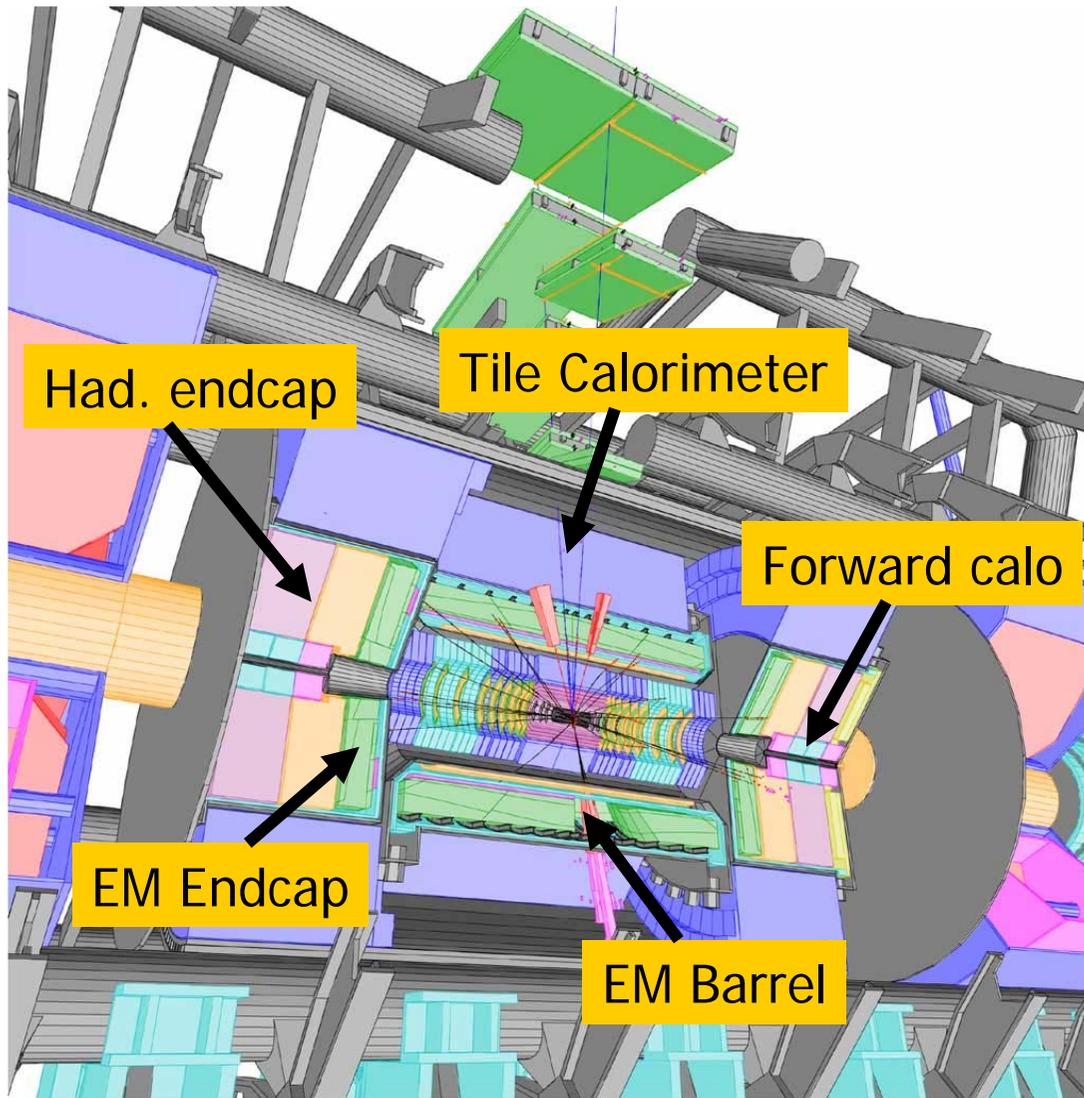
- Calorimetri elettromagnetici:

- Benchmarks:  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $H \rightarrow eeee$ , massa del W richiedono eccellente risoluzione e linearita' nel range  $O(100 \text{ GeV})$  fino a basse  $E_T$
- $Z' \rightarrow ee$  to few TeV range
- b-physics: e down to GeV range
  - Calo TDR goals for  $|\eta| < 2.5$ :
    - Constant term  $< 0.7\%$  (ATLAS)  $< 0.5\%$  (CMS)
    - Energy scale  $\sim 0.1\%$
    - Linearity better than  $0.5\%$  ( $0.02\%$  per massa W)

- Calorimetri adronici e forward:

- Benchmark channels:  $W \rightarrow JJ$  nei decadimenti del top,  $H \rightarrow b \bar{b}$  e linearita' per modelli di quark compositness
- Higgs fusion, forward physics: importante forward jet tagging
- $E_{T\text{MISS}}$  : jet resolution, linearity
  - Calo TDR goals:
    - $\Delta E/E$  : constant term  $< 3\%$  for  $|\eta| < 3$
    - $\Delta E_T/E_T$  : constant term  $< 10\%$  for  $3 < |\eta| < 5$  (few % in FCAL)
    - linearita'  $\sim 2\%$  fino a 4 TeV , energy scale  $\sim 1\%$

## I calorimetri di ATLAS



- **EM LAr**  $|\eta| < 3$  :

Pb/LAr 24-26  $X_0$

**3 sezioni longitudinali** 1.2  $\lambda$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.025 \times 0.025$  (middle) ;  
 $\sim 0.003 \times 0.024$  (strips)

- **Central Hadronic**  $|\eta| < 1.7$  :

Fe(82%)/scintillatore(18%)

**3 sezioni longitudinali** 7.2  $\lambda$

$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$

- **End Cap Hadronic**  $1.7 < \eta < 3.2$  :

Cu/LAr – **4 sezioni longitudinali**

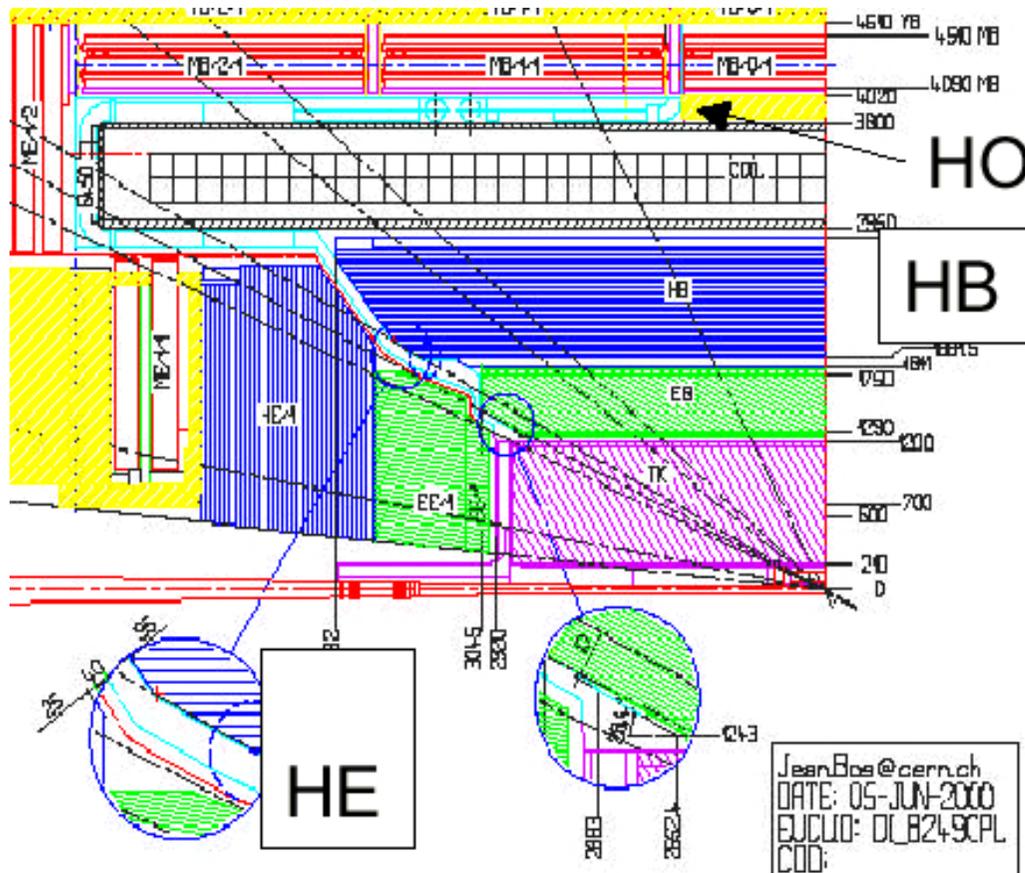
$\Delta\eta \times \Delta\phi < 0.2 \times 0.2$

- **Forward calorimeter**  $3 < \eta < 4.9$  :

EM Cu/LAr – HAD W/LAr

**3 sezioni longitudinali**

# I calorimetri di CMS



- **EM calorimeter**  $|\eta| < 3$  :

PbWO<sub>4</sub> crystals

1 sezione longitudinale  $1.1 \lambda$  ,

$$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.0174 \times 0.0174$$

- **Central Hadronic**  $|\eta| < 1.7$  :

Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2 + 1 (HO) sezioni longitudinali

$5.9 + 3.9 \lambda$  ( $|\eta| = 0$ )

$$\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$$

- **Endcap Hadronic**  $1.3 < |\eta| < 3$  :

Cu(70%)+Zn(30%)/scintillatore+WLS

2/3 sezioni longitudinali  $10\lambda$

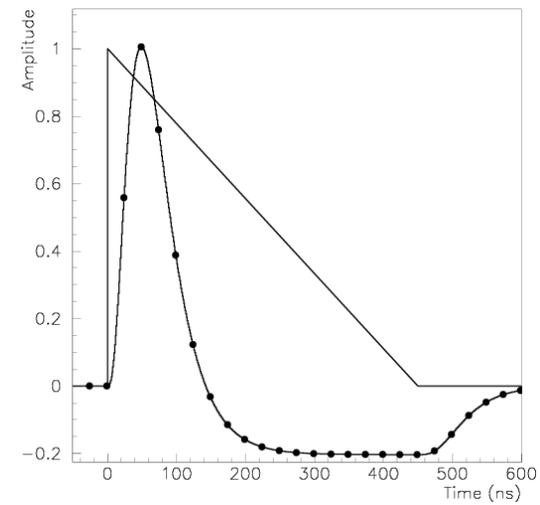
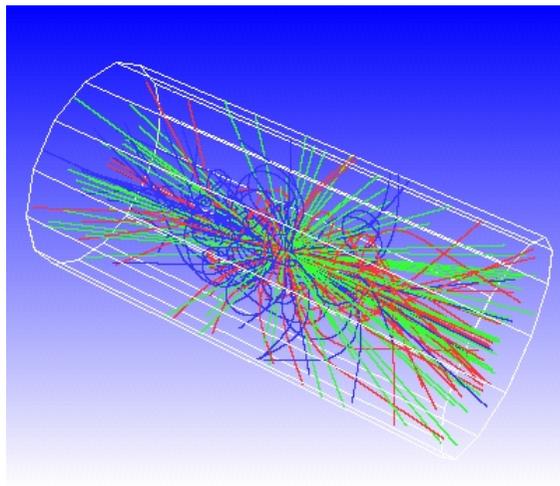
$$\Delta\eta \times \Delta\phi = \sim 0.15 \times 0.17$$

- **Forward calorimeter**  $2.85 < \eta < 5.19$ :

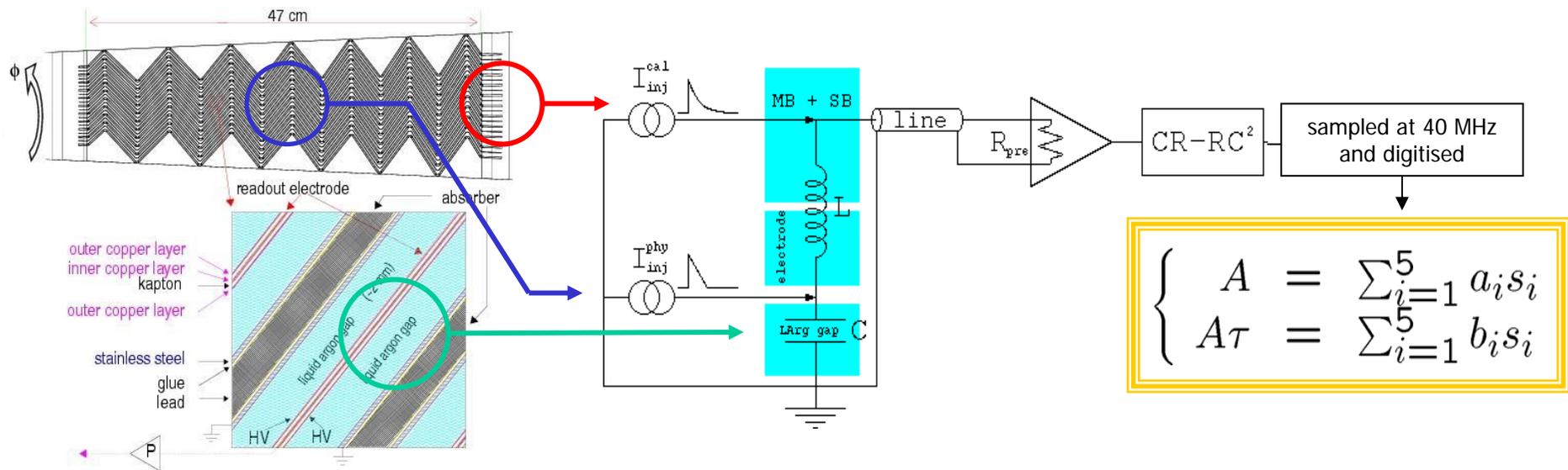
Ferro/fibre di quarzo  $\Delta\eta \times \Delta\phi = \sim 0.175 \times 0.17$

---

# Parte I : Dagli eventi ai segnali nei calorimetri



## Il calorimetro em di ATLAS: generazione del segnale e calibrazione elettronica



- Il **segnale di fisica** : triangolare lunghezza  $\sim 400$  ns. Il segnale dopo la formatura ha un tempo di picco  $\sim 50$  ns. Il valore del picco e' ricostruito usando 5 campioni del segnale ( $\Delta t = 25$  ns) mediante una tecnica di *Optimal filtering* che minimizza l'effetto del noise elettronico + pileup. Il segnale di fisica e' sensibile principalmente a:

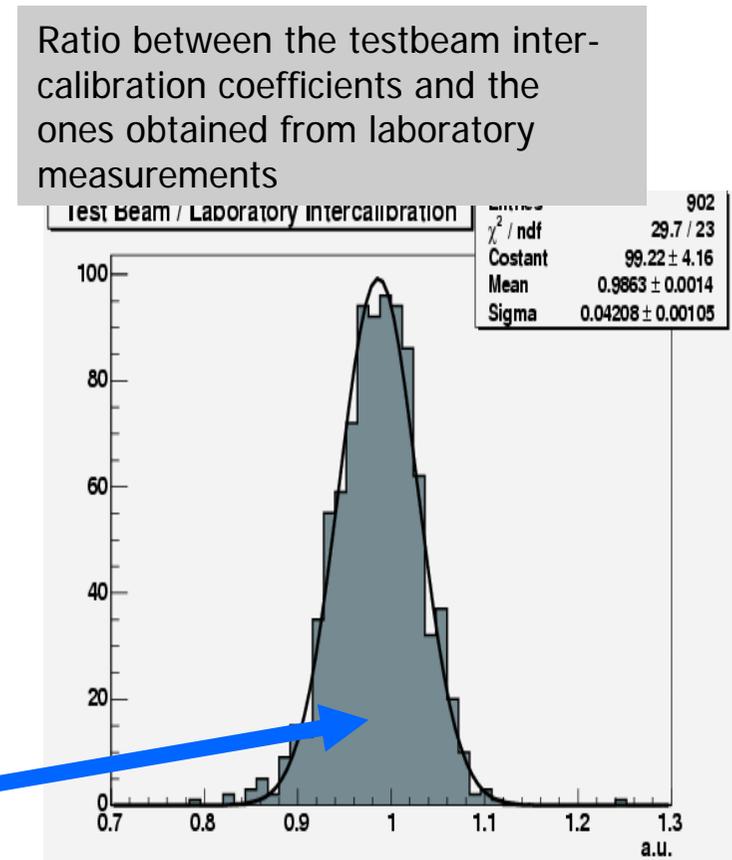
- Spessore di assorbitori e gap di LAr , Alta tensione, Temperatura ( $-2\%$  /  $^{\circ}\text{K}$ ), LAr purity

- Un **segnale di calibrazione** viene usato per calibrare il guadagno del sistema di read-out ( $\sim 0.2\%$  accuracy) : **segnale di fisica e calibrazione** differiscono in forma e ampiezza: la forma di fisica puo' essere predetta dalla calibrazione e usata per calcolare i coefficienti di OF

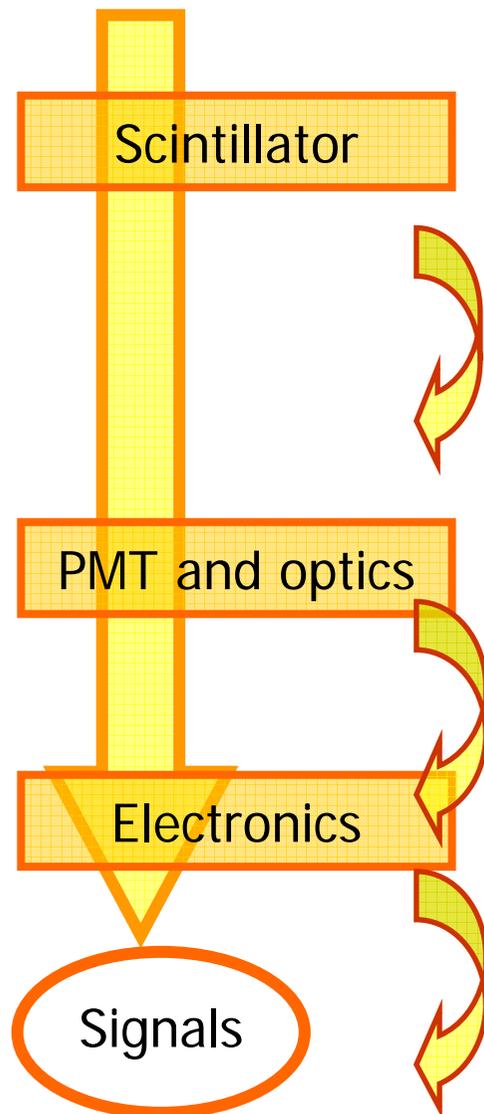
- Grosso lavoro a **CTB 2004** per rendere il software pronto per ATLAS (nel framework Athena)

## Precalibrazione di CMS ECAL : misure in laboratorio

- Il **light yield (LY)** e la **longitudinal transmission (LT)** sono misurati nei centri regionali a Roma e al CERN
- Il guadagno reale degli APD (rispetto al valore nominale di 50) e' noto per ogni singolo APD
- La **risposta elettronica** e' misurata per ogni singolo canale (Lyon, Torino, ETH)
- Una prima stima dei coefficienti di calibrazione puo' essere effettuata da una combinazione di questi contributi alla risposta del rivelatore con una precisione di circa il 4% (da un iniziale spread ~8% dovuto alle variazioni del LY dei cristalli, vedi nel seguito)



## Calorimetri adronici: generazione del segnale e calibrazione



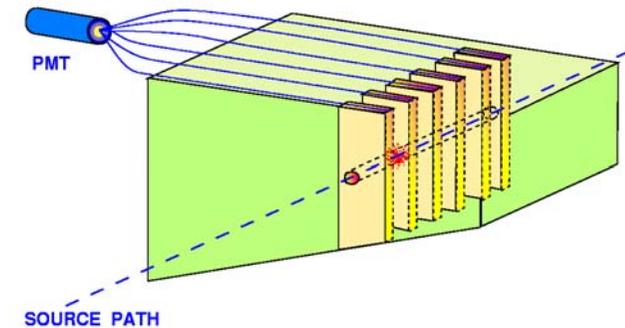
### **Sorgente radioattiva:**

trasportata idraulicamente attraverso ogni scintillatore permette di controllare la risposta ottica dello scintillatore ed equalizzare la risposta di tutte le celle di readout

- ATLAS :  $\sim 2 \text{ ‰}$  ATLAS di uniformita' tra le tiles e su dati testbeam e' stato estratto il fattore di calibrazione di calibrazione pC/GeV (3%)
- CMS : uniformita'  $< 2\%$ . In alcuni tubi la sorgente viene fatta scorrere anche **durante la presa dati**

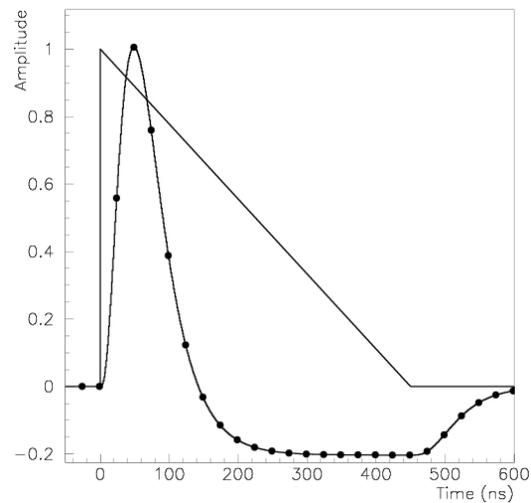
**Laser** : monitor di risposta dei fotomoltiplicatori tra due run di calibrazione al cesio. CMS ha anche un sistema di LED (ridondanza)

**Charge Injection (CIS):** (solo ATLAS) calibrare e monitorare la risposta dell'elettronica di read out al livello dell' 1%: run periodici di calibrazione sono previsti in assenza di fascio (frequenza da determinare con l'esperienza) o tra due bunch (ampiezza fissa soltanto)



---

## Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



Elettroni e fotoni

## Ottimizzare la risoluzione preservando la linearita'

- Correggere effetto per effetto estraendo i parametri dalla simulazione
- Cluster di dimensioni fissate: uso di clusters topologici non testato

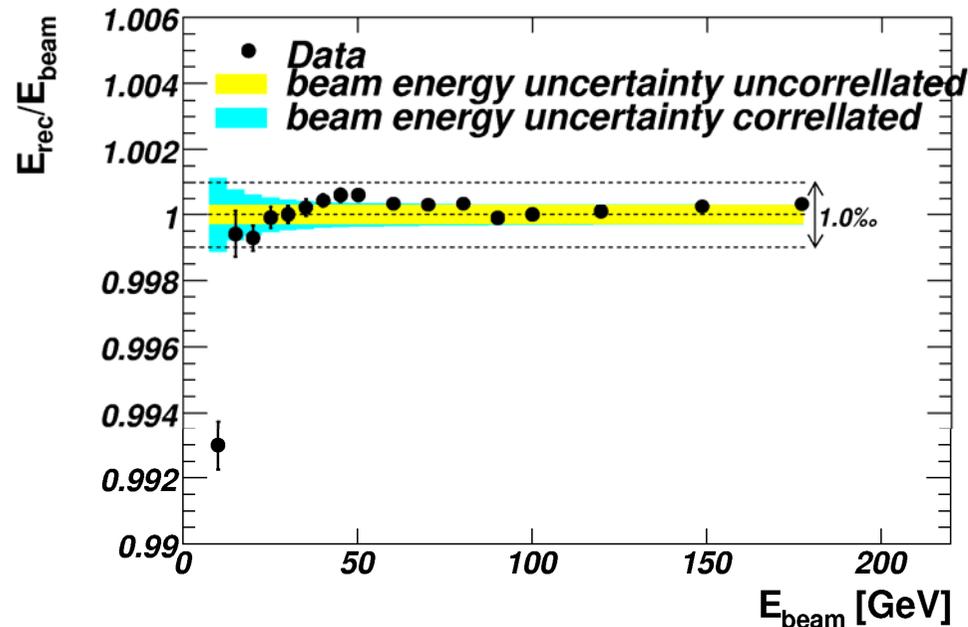
$$E^{rec} = (a(E) + b(E) \cdot E_{PS}^{Vis} + c(E) (E_{PS}^{Vis} \cdot E_1^{vis})^{\alpha(\sim 0.5)} + d(E) \cdot \sum_{i=1,3} E_i^{calo}) \cdot (1 + f_{leak}(depth))$$

- E' fondamentale una eccellente descrizione MC del rivelatore
- Parametrizzazione in funzione di eta?
- Esportabilita' ad ATLAS?

- Correzioni per bremsstrahlung in far material (solo per testbeam)
- Modulazioni della risposta dipendenti dal punto di impatto nella cella

## Performance del calorimetro em di ATLAS: linearita' e risoluzione

Dati di testbeam 2002 a  $\eta = 0.7 \Rightarrow \sim 2$  anni di lavoro!!!

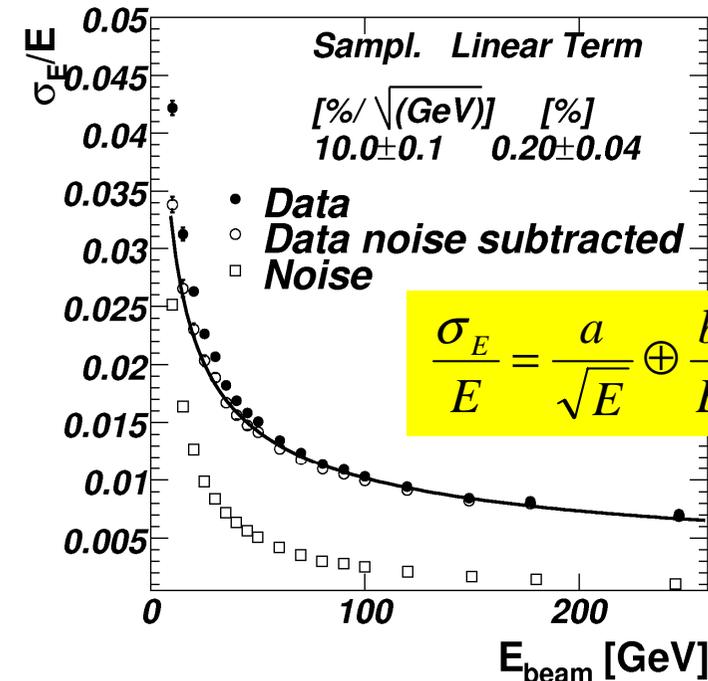


Linearita' del calorimetro (barrel):

- $\pm 0.1\%$  (escluso il punto a 10 GeV)
- Meglio dello  $\pm 0.1\%$  tra 20 – 180 GeV
- Entro le specifiche richieste dalla fisica

Risoluzione del calorimetro:

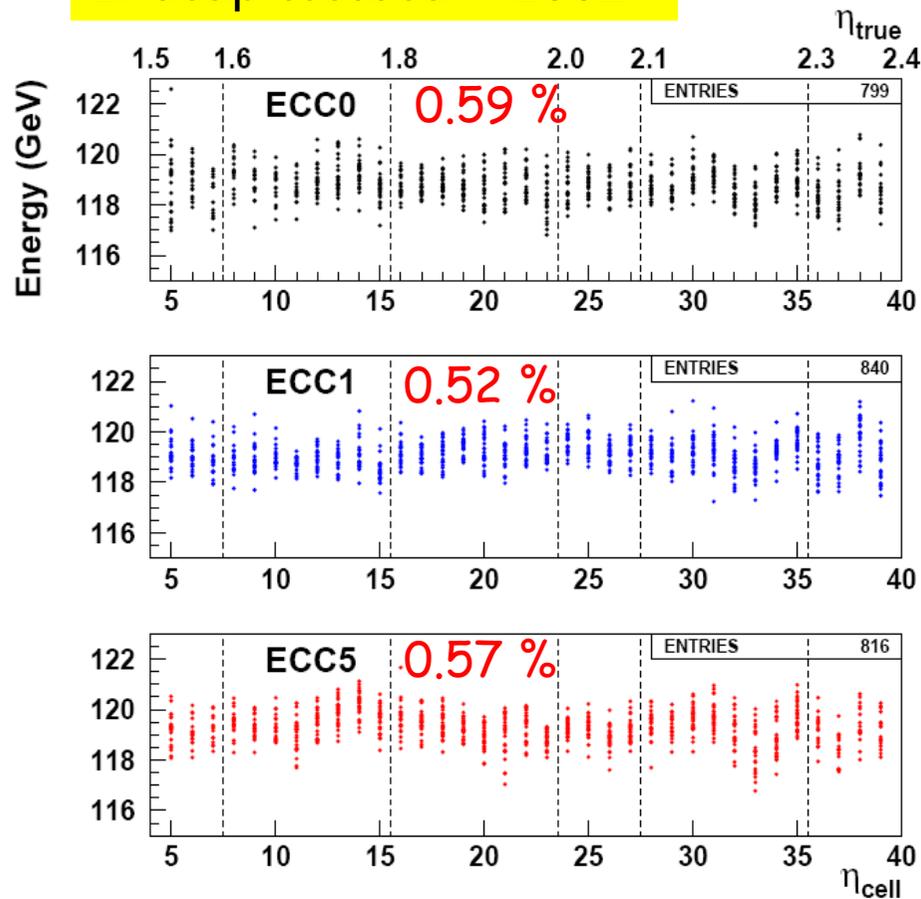
- Sampling term(a): Barrel  $\sim 10\%$  Endcap  $< 12.5\%$
- Noise elettronico(b):  $\sim 250$  MeV (cluster 3x3)
- Local constat term(c):  $\sim 0.2\%$
- Entro le specifiche richieste dalla fisica



Questo schema di calibrazione ottimizza la risoluzione preservando la linearita':

# Performance del calorimetro em di ATLAS: uniformita'

## Endcap testbeam 2002



	Barrel P13	Barrel P15
RMS	<b>0.57%</b>	<b>0.64%</b>

## Strategia:

- Ottenere una uniformita' locale (in un settore  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$ )  $\sim 0.5\%$
- Intercalibrare diverse regioni con eventi di fisica ( $Z \rightarrow e^+e^-$ ) per ottenere un termine costante globale (c)  $\sim 0.7\%$

## Risultati:

- Non e' difficile ottenere 1% quasi on line
- Molto lavoro necessario per scendere allo 0.5% richiesto
- Risultati positivi: termine costante  $< 0.6\%$  in un intero modulo ( $\sim 7$  settori)

## Prospettive:

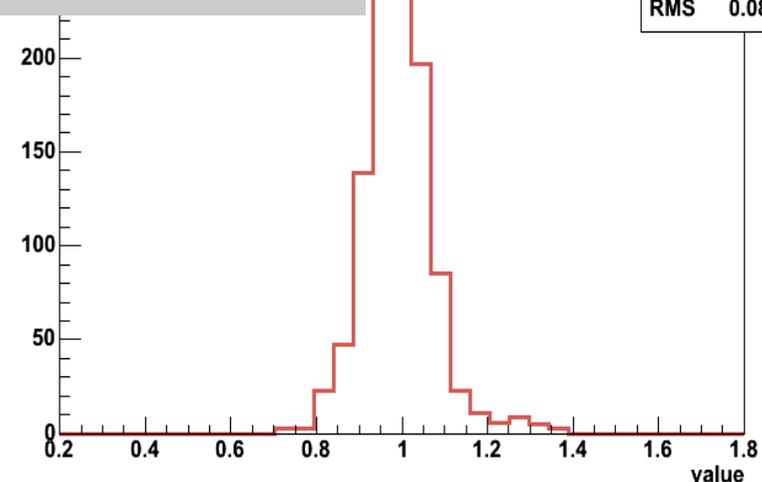
- Il goal di un termine costante globale allo 0.7% raggiungibile intercalibrando con Z

## Il calorimetro em di CMS: la calibrazione

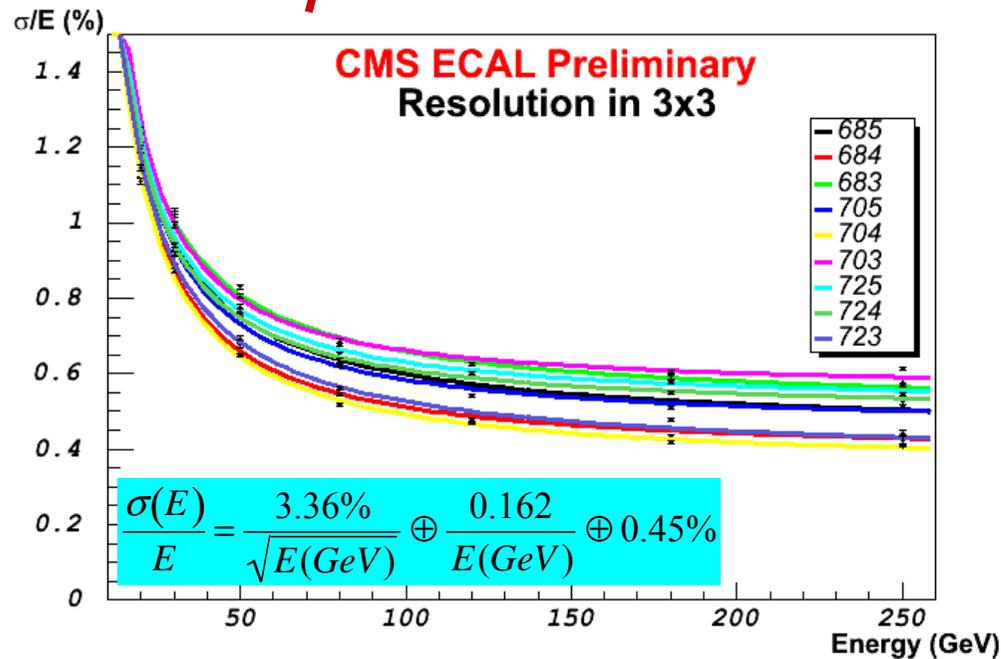
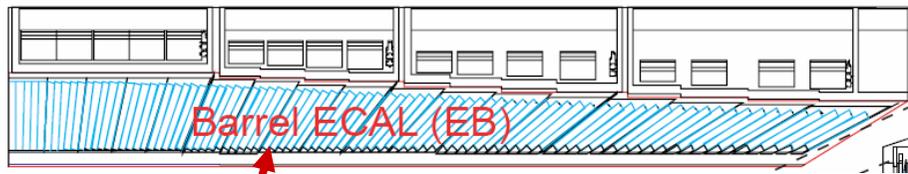
$$E_j^{calib} = E_j^{raw} c_j$$

- I coefficienti di calibrazione  $c_j$  vengono calcolati per **equalizzare la risposta dei cristalli** ad una scala di energia assoluta
- L'item piu' critico e' **inter-calibrazione** sia spaziale sia temporale: la calibrazione dei cristalli non deve cambiare in diversi settori del detector e non deve dipendere dal tempo
- Algoritmi di ricostruzione diversi (super-clustering, fixed window) richiedono diversi schemi di calibrazione
- La principale fonte di disuniformita' della risposta e' la variazione del **light yield** tra cristallo e cristallo la cui RMS ~8% (senza calibrazione).
- **Calibrazione al Testbeam**: un fascio di elettroni di energia nota incide con geometria CMS – like sui cristalli di un supermodulo
- E' stata ottenuta **una precisione al livello dello 0.5%** sui coefficienti di intercalibrazione
- Solo alcuni super-moduli sono stati testati su fascio a causa dello stretta schedule di CMS

Calibration coefficients distribution as measured during the 2004 testbeam by means of 120 GeV electrons

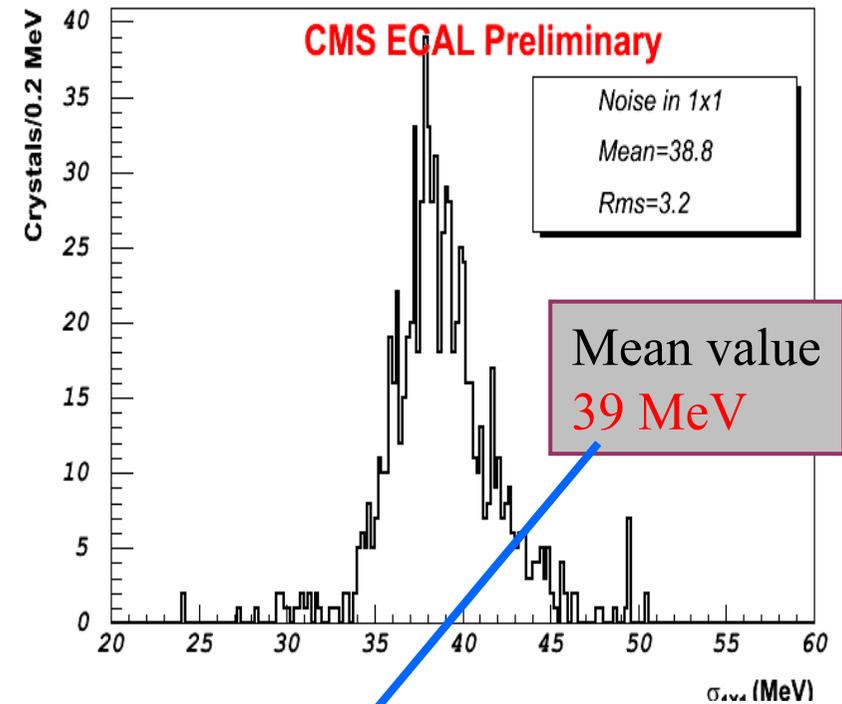


# CMS ECAL testbeam: la risoluzione energetica



$\sigma(E)/E$  versus  $E$  ricostruendo l'energia in una matrice di 3x3 cristalli, per 9 diversi cristalli centrali

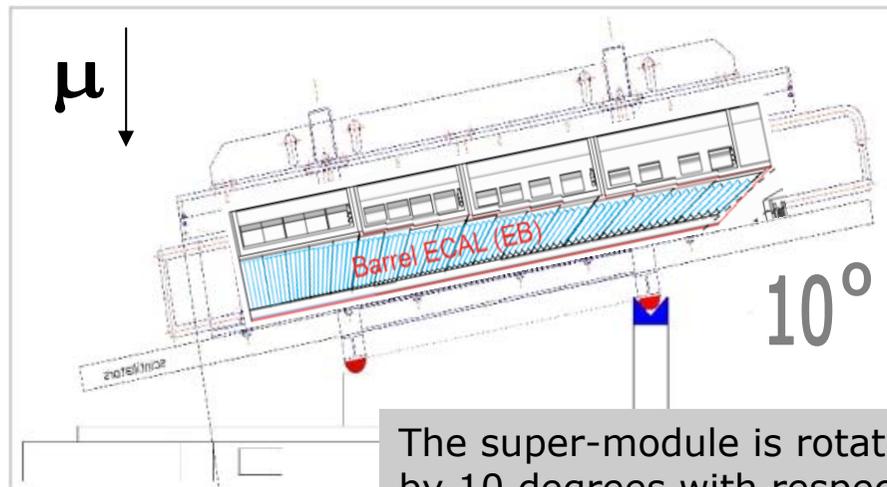
noise per singolo canale,  
noise correlato trascurabile



cfr: il segnale di una mip e' circa 230 MeV

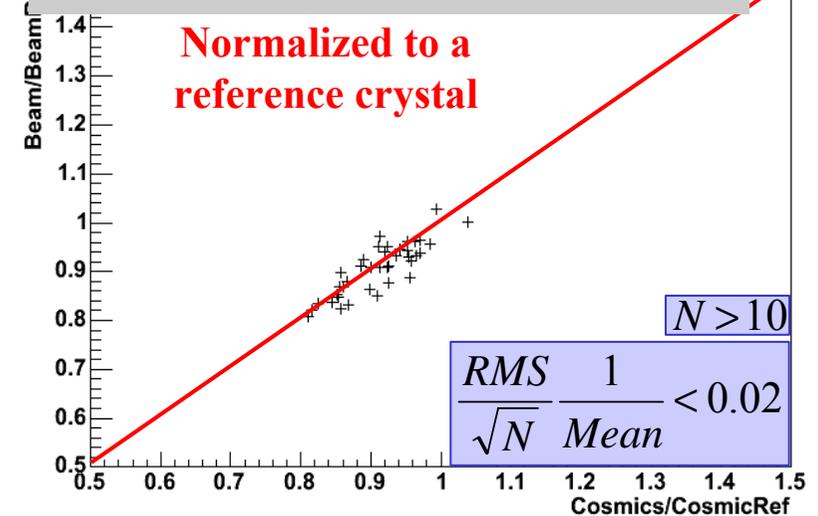
## CMS ECAL precalibration: cosmics

- **M.I.P. cosmic muons** usati per intercalibrare cristalli in ogni singolo supermodulo
- Dopo una settimana di data taking si raggiungera' **una precisione migliore del 3% nei coefficienti di intercalibrazione**
- Un veto sulle energie depositate nei cristalli vicini viene usato per selezionare muoni **paralleli all'asse del cristallo**
- Questa misura sara' effettuata su **tutti i super- moduli**.
- La prima campagna di misure e' cominciata nel luglio 2005 e i primi risultati saranno presto disponibili.



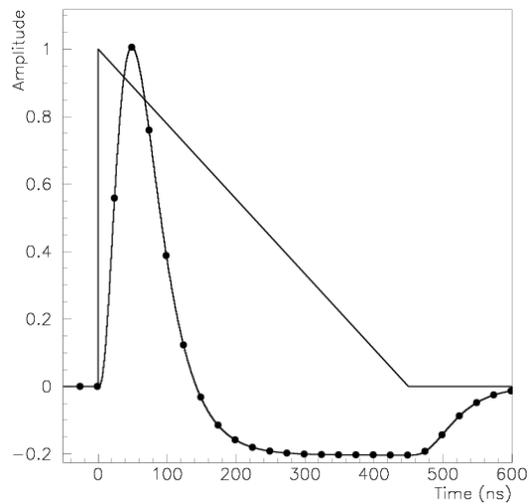
The super-module is rotated by 10 degrees with respect to the horizontal plane

Comparison of testbeam calibration coefficients with preliminary cosmic calibration coefficients



---

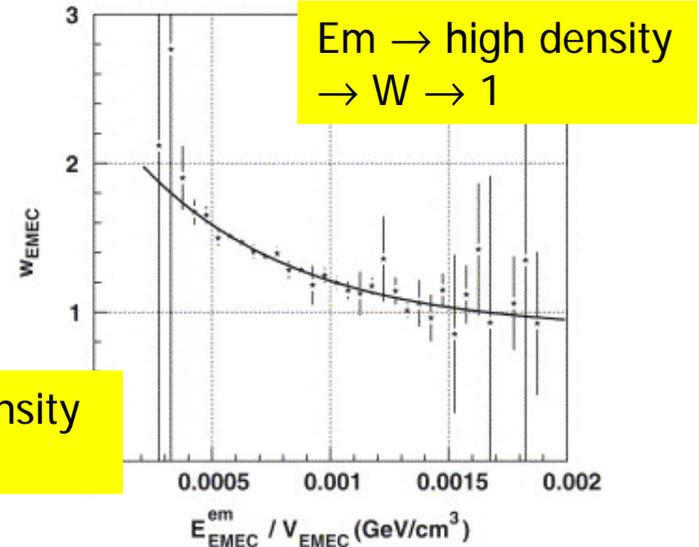
## Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



Pioni singoli

# Calibrazione di pioni singoli al testbeam ATLAS

- Approccio semplice al problema della compensazione: **densita' di energia** (H1 approach)
  - Densita' di energia elevata → principalmente EM
  - Densita' di energia bassa → principalmente had
- Indipendente dal processo fisico
- Pesi per la compensazione dalla richiesta di minimizzare la risoluzione



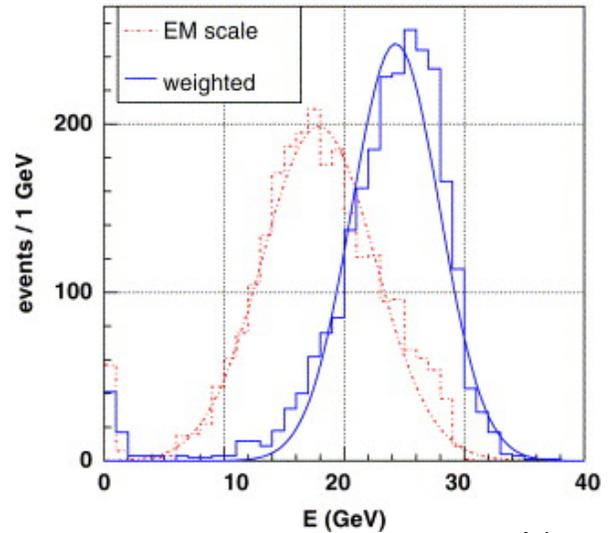
Hadr → low density  
→ W > 1

$$E_{\text{corr}}(\text{cell}) = W(E, \dots) E_{\text{reco}}(\text{cell})$$

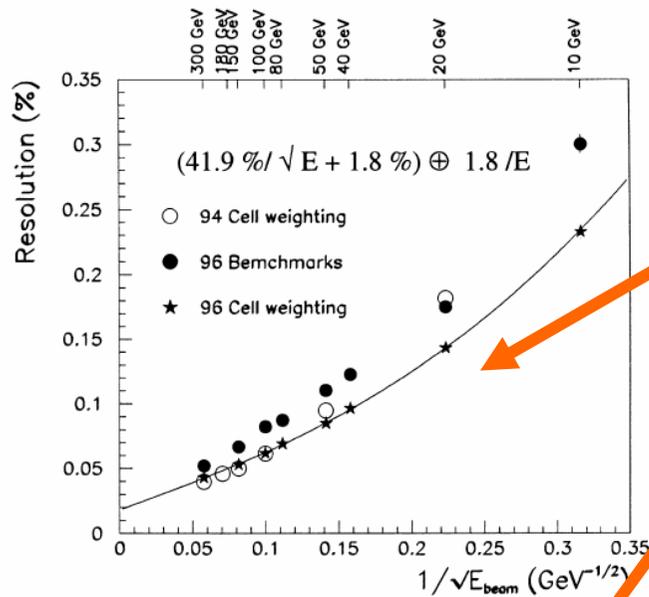
$$W = c_1 \exp(-c_2 E_{\text{rec}}/V) + c_3$$

- Esempio : pioni da 30 GeV nell'EMEC al combined HEC-EMEC testbeam tutti contenuti nell'EMEC.

$$\sigma/E = 26.2 \% \rightarrow 15.1\%$$



# Calibrazione di pioni singoli al testbeam Tile + LArg di ATLAS



Al combined testbeam 1996 e' stato utilizzato un metodo di cell weighting alla H1 + constraint sull'energia del beam

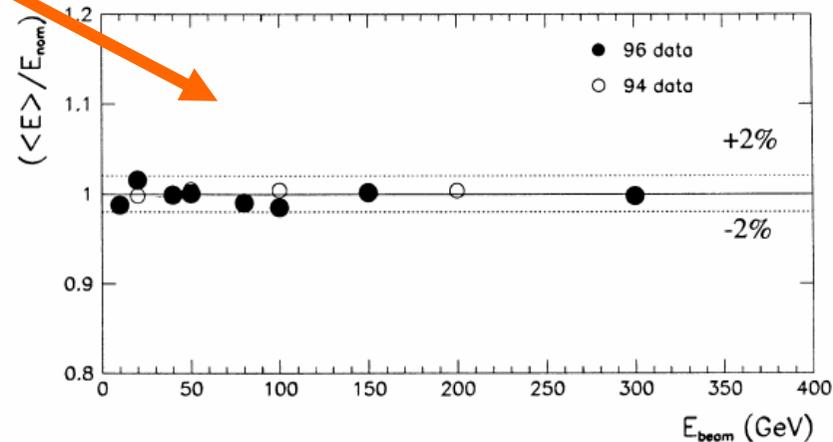
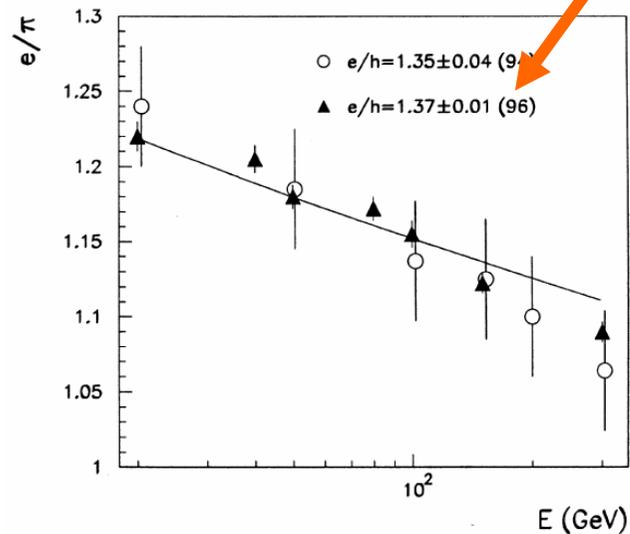
● Risoluzione (pioni singoli) :

$$\frac{\sigma_E}{E} = \left( \frac{(41.9 \pm 1.6)\%}{\sqrt{E}} + (1.8 \pm 0.1)\% \right) \oplus \frac{(1.8 \pm 0.1)}{E}$$

● e/h ~ 1.37

● Linearita' entro il 2% dopo la calibrazione

● Work in progress su dati di Combined TB 2004

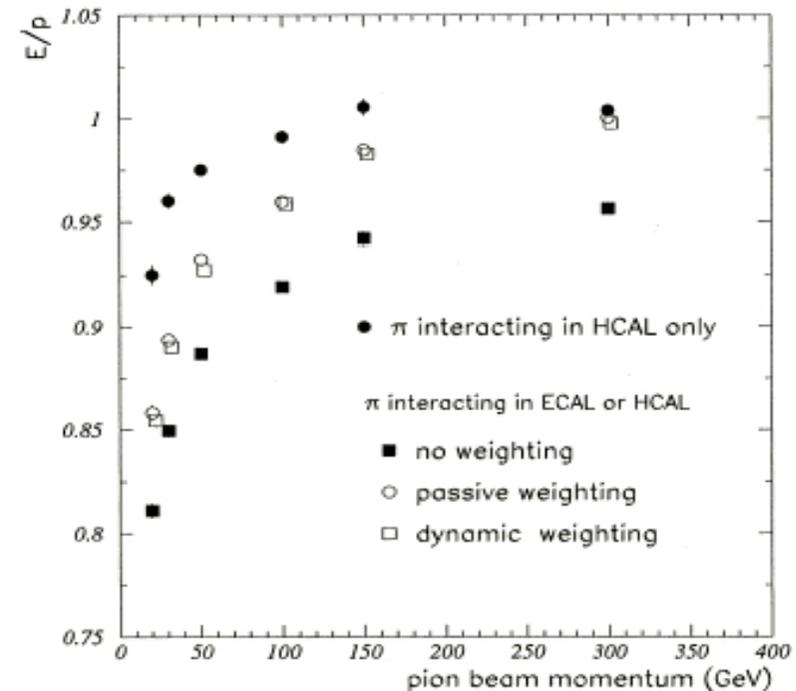
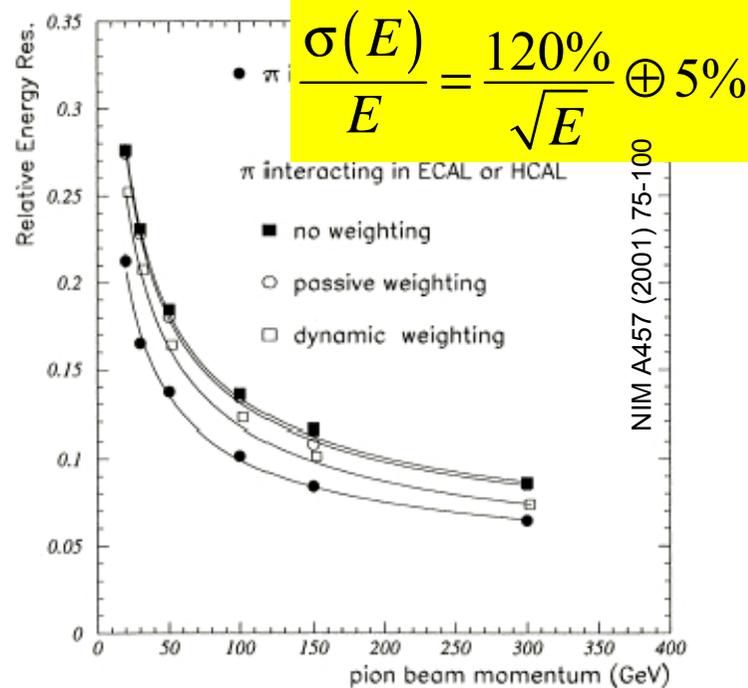


## CMS HCAL: testbeam

- Ogni cristallo calibrato alla scala elettromagnetica  
 $E_j^{\text{Calib}} = E_j^{\text{Raw}} c_j (E_j^{\text{Raw}}, \eta)$  (sorgenti)
- misura dei **coefficienti di calibrazione assoluta** con eventi fisici
- studio della funzionalita' degli **altri metodi di calibrazione**
- studio della **uniformita'** del detector: effetto 1-2% per elettroni, trascurabile per pioni

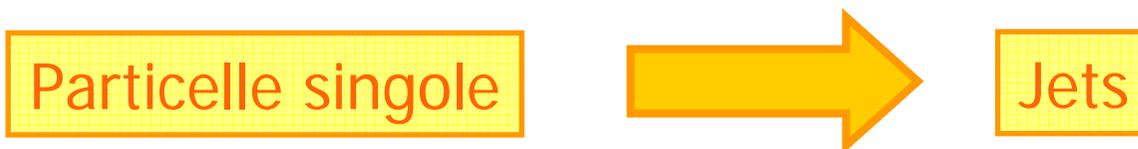
$$E_{\text{rec}} = E_{\text{EM}} + (\alpha \times H1 + H2 + H3)$$

un alto segnale in H1 indica presenza di un adrone e quindi il segnale in EM e' sottostimato  $\alpha > 1$  corregge per  $e/h < 1$ . Il coefficiente  $\alpha$  **utilizzato e' costante**.

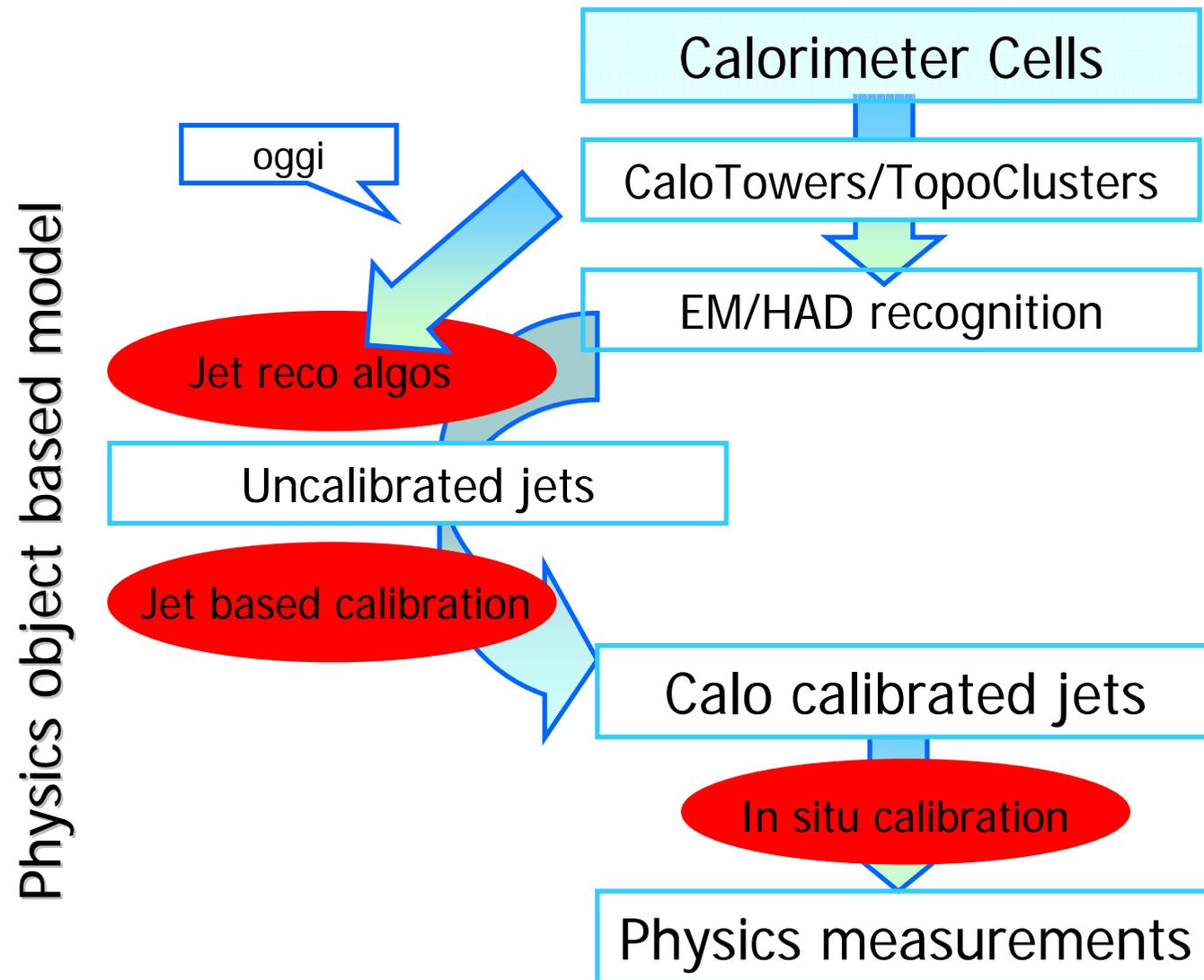


---

## Parte II : dal segnale agli oggetti fisici



## Ricostruzione di adroni e jets



## Ricostruzione dei jets

### algoritmo a cono $\rightarrow$ vicinanza in angolo

Selezionate le torri calorimetriche con  $E_T > E_{T,seed}$  (tipicamente 2 GeV)

Vengono associate le torri entro un raggio  $\Delta R$  (0.7 o 0.4) attorno al seed e viene calcolato il baricentro del jet.

$$\Delta R = \sqrt{\Delta \eta^2 + \Delta \phi^2}$$

Iterazione fino al raggiungimento di un cono stabile.

Unire due jets se l'overlapping energy > 50 %

Note:

- Jet ha forma e dimensioni definite
- Semplice, veloce
- Teoricamente non corretto

### algoritmo $K_T \rightarrow$ vicinanza in $P_T$ e angolo

Per ogni precluster  $i$  e per ogni coppia di precluster  $i, j$  si definiscono ( $D=1$ ):

$$d_{ij} = k_{T,i}^2$$

$$d_{ij} = \min(k_{T,i}^2, k_{T,j}^2) \frac{\Delta R_{ij}^2}{D^2}$$

si cerca il  $d$  minimo:

- se ( $d_{\min} = d_{ij}$ )  $\Rightarrow$  jet trovato!
- se ( $d_{\min} = d_{ij}$ )  $\Rightarrow$  uniscono  $i$  e  $j$  (4-vector sum) in un nuovo  $d_{ij}$

Note:

- Il jet non ha piu' forma definita a priori
- No sovrapposizioni
- Piu' complesso da calibrare

- Definizione del segnale: cut a  $E_{\text{cell}} > n\sigma_{\text{noise}}$
- L'energia del jet viene definita:

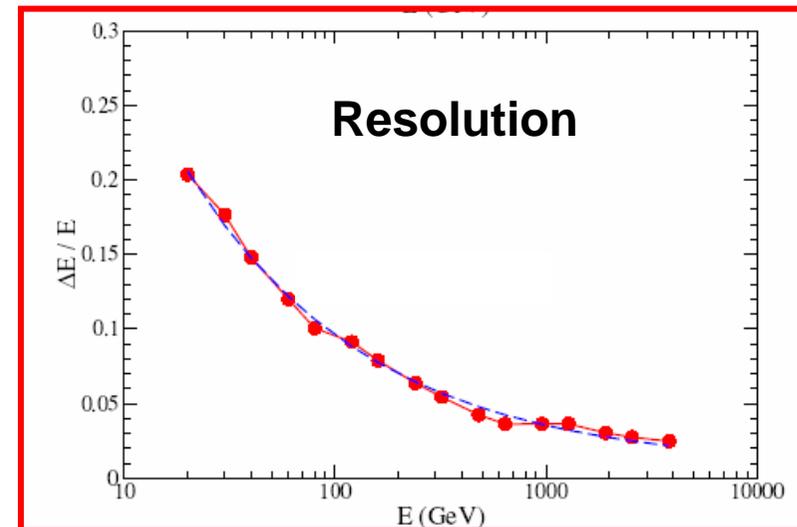
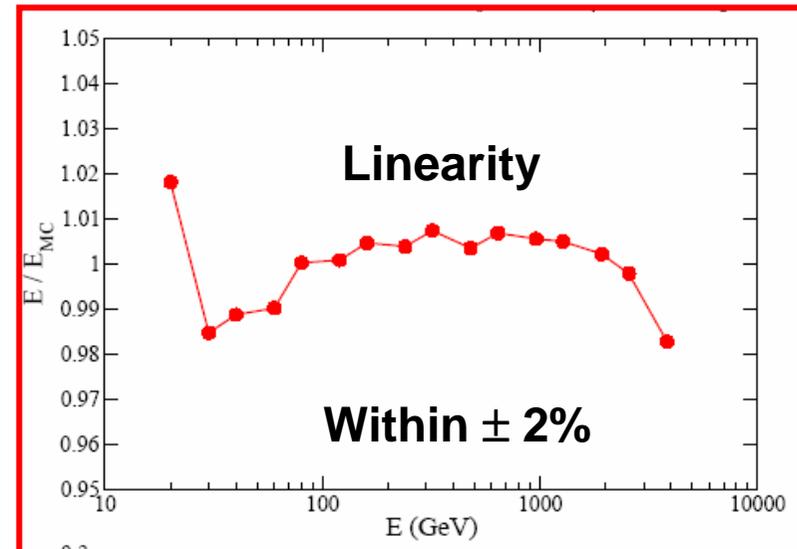
$$E_{\text{Rec}} = \sum_{\text{cell}} w_{\text{cell}} (E_{\text{cell}} / V_{\text{cell}}) E_{\text{cell}}$$

- $w_s$  sono ottenuti su eventi QCD a due jets in vari modi: ad esempio minimizzando

$$\chi^2 = \frac{\sum_{\text{events}} (E_{\text{rec}} - E_{\text{truth}})^2}{E_{\text{truth}}^2}$$

- La linearita' e risoluzione per un samples di eventi a due jets con noise in full detector simulation ( $20 < E < 4000 \text{ GeV}$ ) :

$$|\eta| < 0.7 \quad \frac{\sigma(E)}{E} = \frac{64\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} + 3\% + \frac{4.4}{E(\text{GeV})}$$

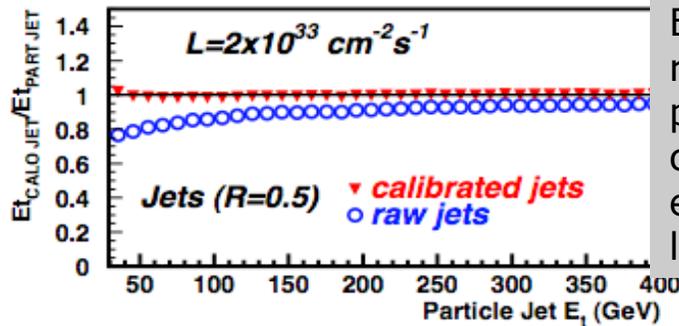


## CMS HCAL: correzioni di scala per i jet

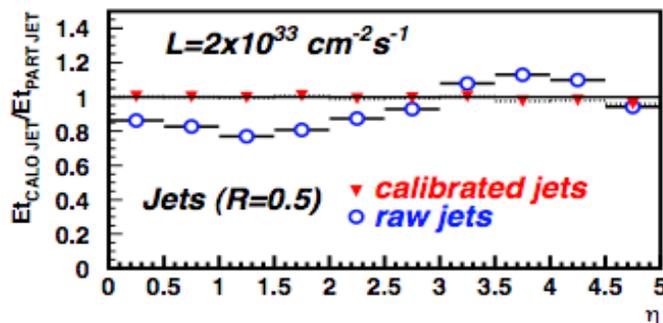
- Prime stime da Montecarlo all'inizio della presa dati
- dopo aver accumulato sufficiente statistica, la stima verra' effettuata a partire da eventi jet+ $\gamma$  e jet+Z

10 bin in  $\eta \Rightarrow$  costanti di calibrazione ( $p_2 p_1 p_0$ ) in modo da riportare il valor medio dell'energia trasversa  $E_{Trec}$  all'energia delle particelle nel cono  $E_{Tgen}$ :

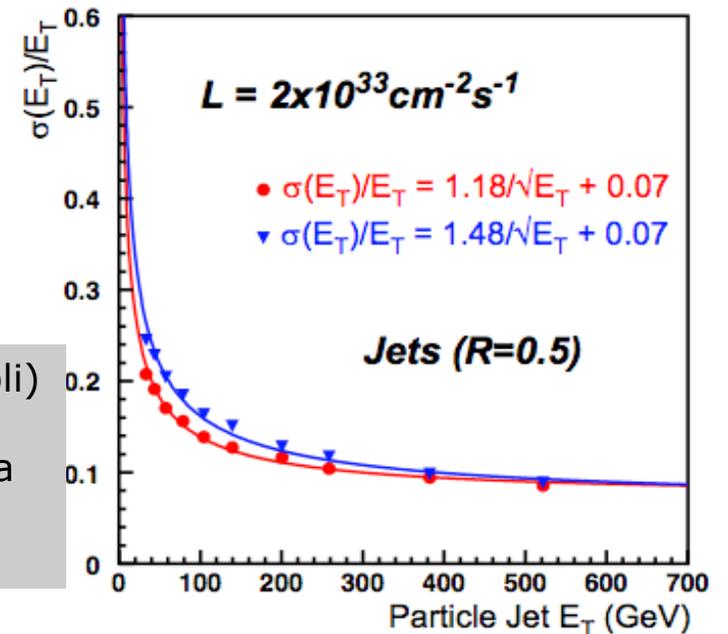
$$\langle E_T^{ric} \rangle = p_2 * (E_T^{gen})^2 + p_1 * E_T^{gen} + p_0$$



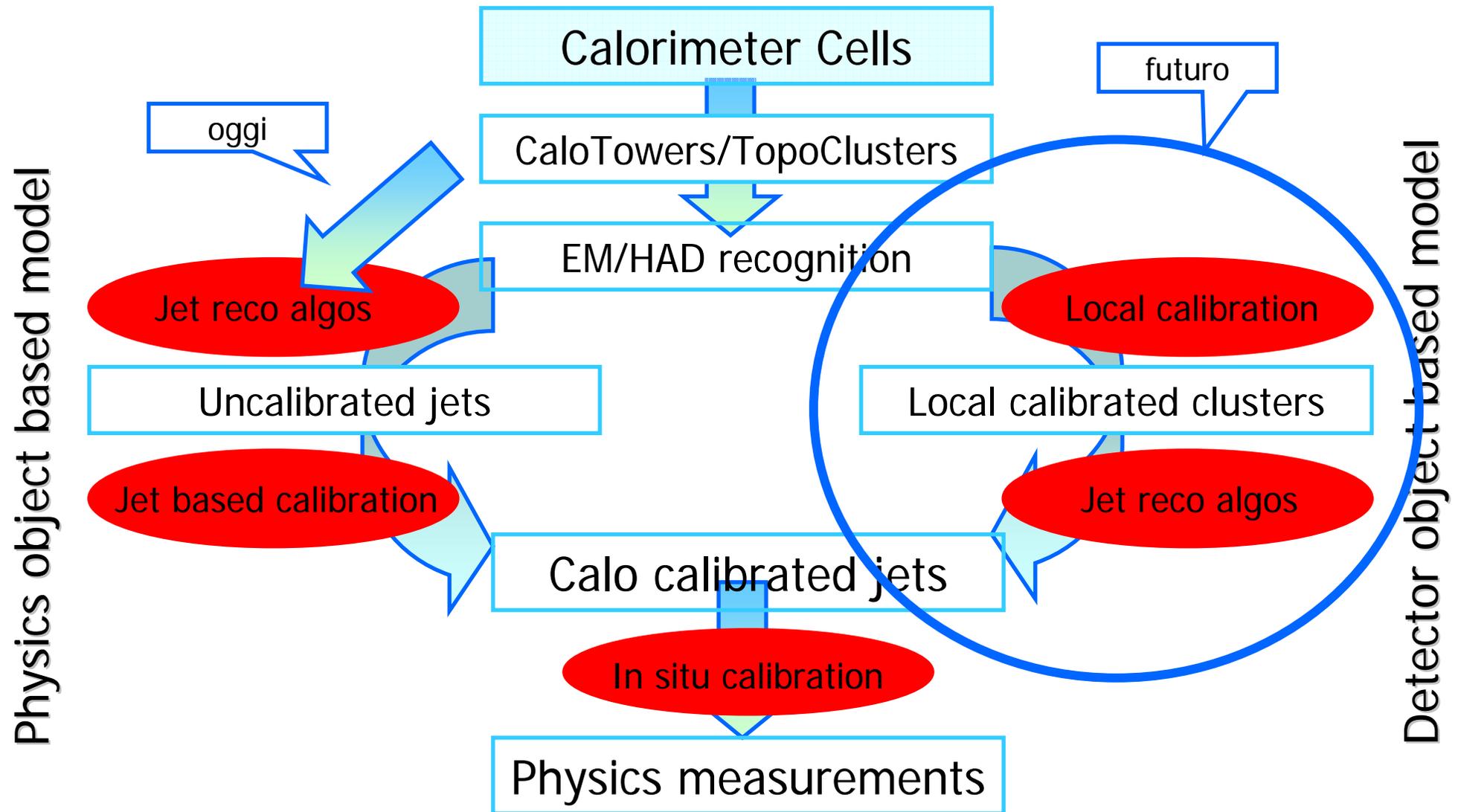
Energia ricostruita/generata prima e dopo la calibrazione per la scala energetica, bassa luminosita'

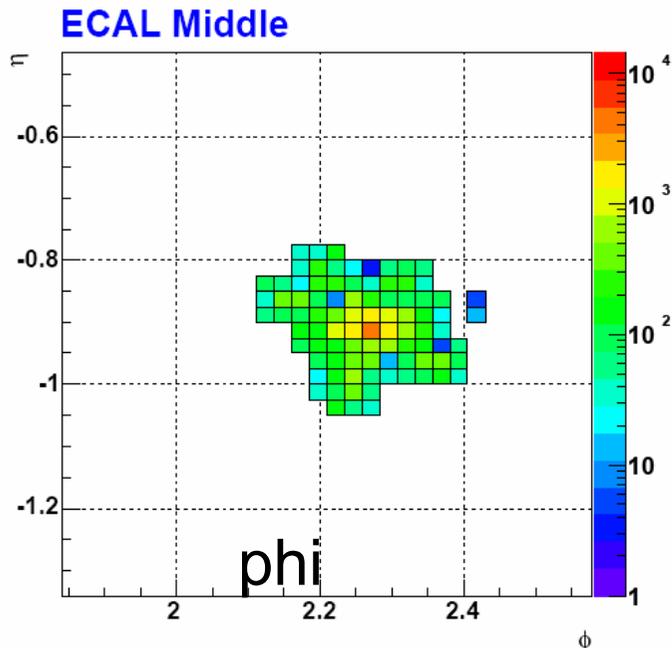


risultati prima (triangoli) e dopo (cerchi) la calibrazione per la scala energetica, a bassa luminosita'



# Ricostruzione di adroni e jets alternativa in ATLAS



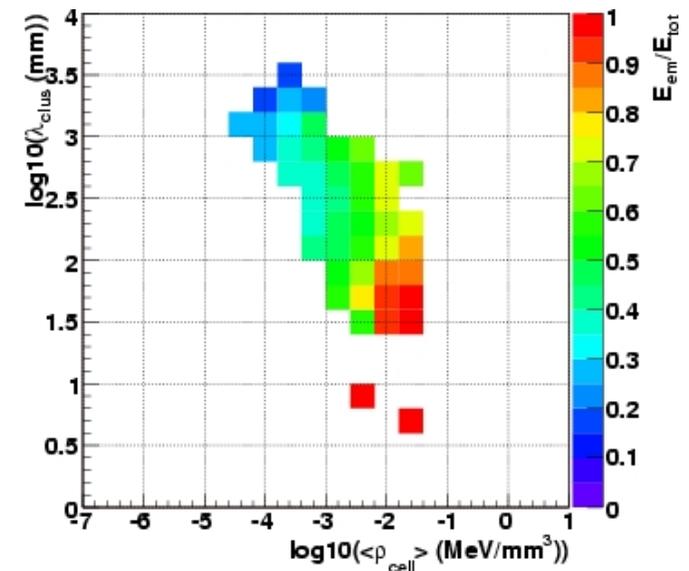


## Topological clustering algorithm

- i cluster sono costruiti raggruppando celle che sono 'topologicamente' neighbours secondo certe regole:
  - solo celle  $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{seed}}$  originano un cluster
  - solo celle con  $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{cell}}$  vengono sommate
  - solo per le celle :  $|E/\sigma_{\text{noise}}| > T_{\text{neighbor}}$  si interrogano le vicine
- Topological cluster splitter: separa cluster attorno ad eventuali massimi locali

## Cluster classification utilizzando ad esempio due momenti:

- La shower depth ( $\lambda_{\text{clus}}$ ) : sciame profondi tendono ad avere un maggior contenuto adronico
  - Densita' media delle celle ( $\rho_{\text{cell}}$ ): densita' elevate indicano attivita' elettromagnetica
  - In fase di test su dati TB 2004



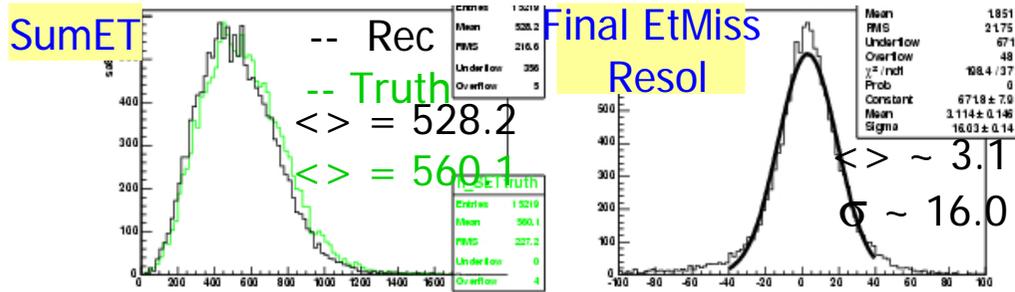
La missing  $E_T$  e' la quantita' piu' complessa perche' richiede la migliore calibrazione per ogni singolo oggetto fisico!

- **Due diversi approcci per calcolare la missing transverse energy nei calorimetri**
  - **MET\_Calib**  $\Rightarrow$  da tutte le celle calorimetriche sopra la soglia  $2\sigma$  (noise elettronico) per  $|\eta_{\text{cell}}| < 5$
  - **MET\_Topo**  $\Rightarrow$  dalle celle calorimetriche nei TopoClusters: noise suppression incorporata!
  - **Calibrazione** : per entrambi i metodi la calibrazione e' basata su pesi all H1 che dipendono dalla densita' di energia della cella e dalla regione di calorimetro
- **MET\_Muon**:
  - Contributo dei muoni dal solo spettrometro (within  $|\eta| < 2.5$ ) per evitare il double counting dell'energia rilasciata nei calorimetri
- **MET\_Cryo**:
  - Stima dell'energia persa nel criostato tra LArg e Tiles calorimeters dall'energia depositata dai jets nell'ultimo comparto del calorimetro em e nel primo dell'adonico.

$$\mathbf{MET\_Final = MET\_Calib + MET\_Muon + MET\_Cryo}$$

# Calibrazione della Missing $E_T$ (ATLAS):

⇒ MET\_Final from All Calo Cells with  $|E_{cell}| > 2\sigma$  (noise)

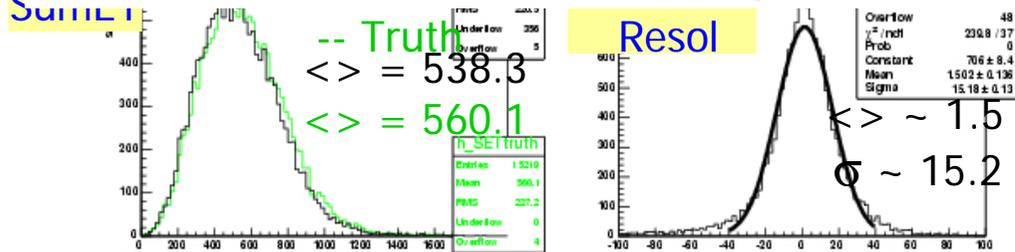


Esempio di  $\text{Sum}E_t$  ed  $E_t$  miss resolution in eventi  $A(800 \text{ GeV}) \rightarrow \tau\tau$

La calibrazione con topoclusters sembra promettente:

- migliora la risoluzione
- migliora l'offset

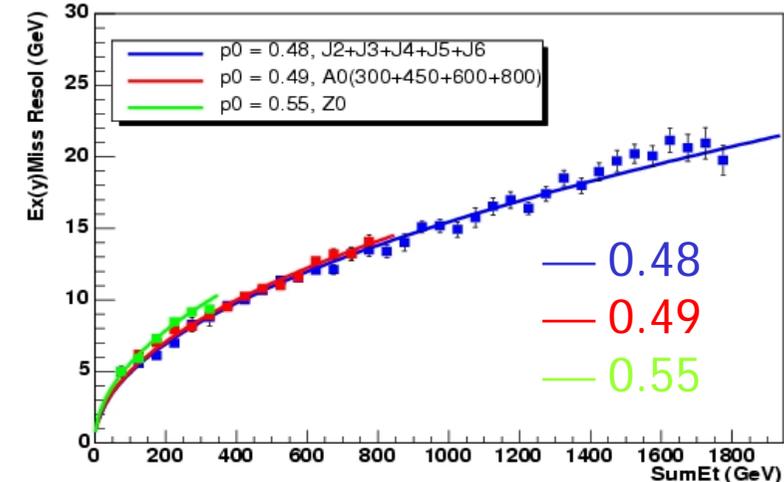
⇒ MET\_Final from All Calo Cells in TopoClusters (4/2/0)



La risoluzione di  $E_t$  miss in funzione di  $\text{Sum}E_t$  un po' peggiorata rispetto al benchmark TDR di 0.46 (non drammatico) soprattutto sul campione Z a basso  $\text{Sum}E_t$

● work in progress su una calibrazione piu' raffinata basata sul detector object based model.

Ex(y)Miss Resol vs SumEt



---

## I calorimetri al giorno 0

	EM		HAD	
	ATLAS	CMS	ATLAS	CMS
Uniformita'	1%	3%	3%	2%
Absolute scale	2%	1%	<10%	~10%

## Parte III : I primi dati

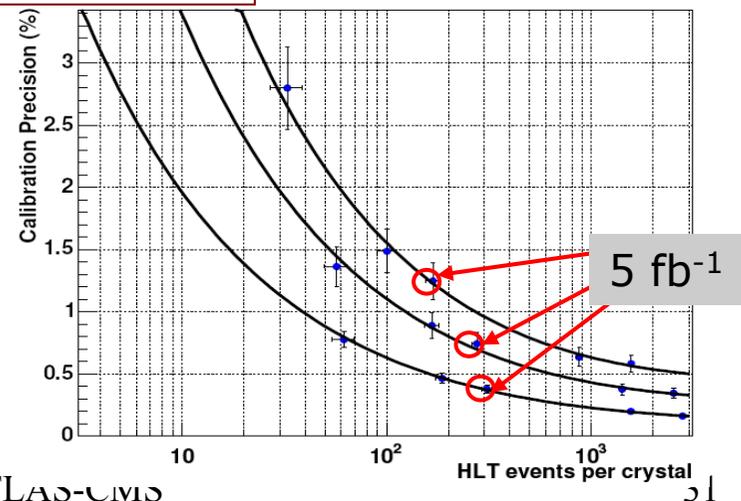
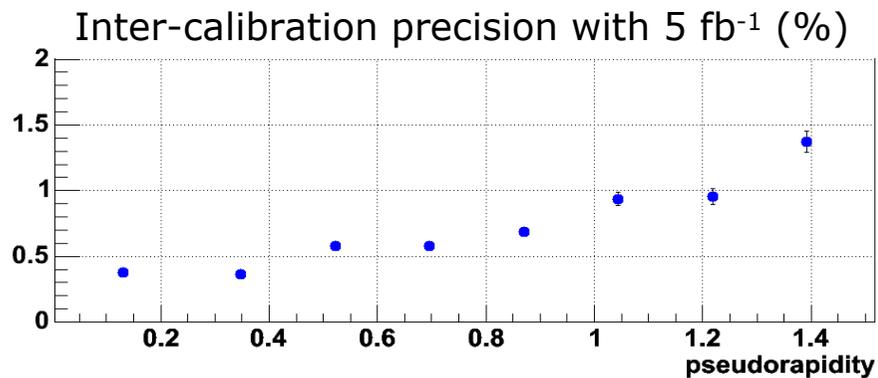
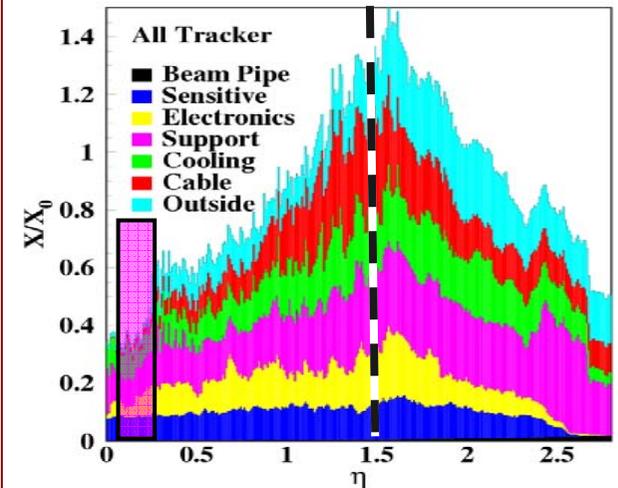


---

# BACKUP SLIDES

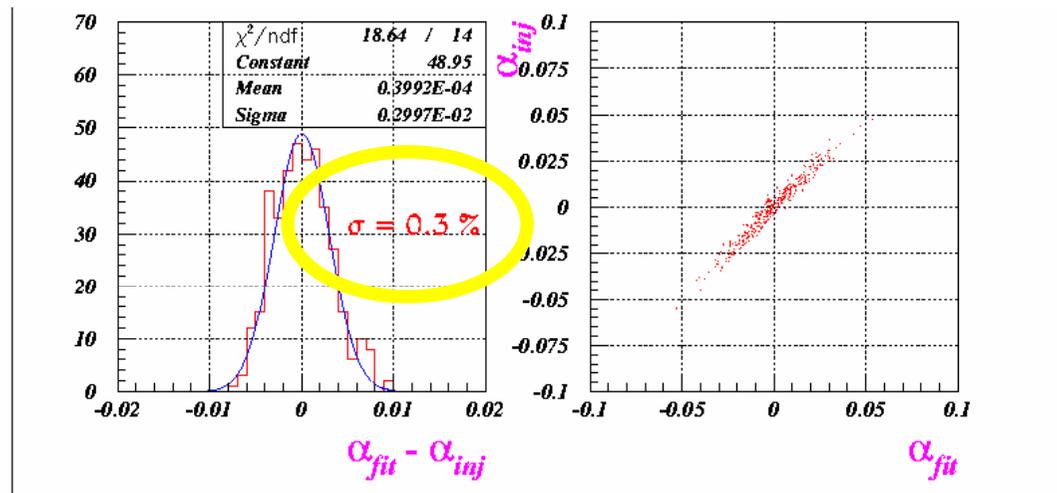
# un esempio: CMS ECAL $W \rightarrow e\nu$

- e' il contributo dominante al termine costante della risoluzione energetica
- gli elettroni prodotti da  $W \rightarrow e\nu$  vengono misurati dal tracker e da ECAL
- l'algoritmo di calibrazione minimizza la discrepanza fra le due misure
- metodo standard previsto per l'inter-calibrazione di ECAL
- i suoi risultati dipendono dalla presenza di un tracker spesso di fronte ad ECAL
- dopo  $5\text{fb}^{-1}$  di presa dati si ottiene una risoluzione che varia da 0.4% a 1.3%



## ATLAS: elettromagnetica in situ $Z \rightarrow e^+e^-$ :

- Il termine costante locale (meccanica, elettronica..)  $\approx 0.5\%$  in ciascuna regione  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$  (tot 440 regions) : verificato su TB
- La disuniformita' tra diverse regioni stimata  $\leq 1.5\%$
- Correzione per disuniformita' di long range ottenuta intercalibrando le varie regioni usando il canale  $Z \rightarrow e^+e^-$
- Full simulation: 150k events (qualche giorno di data taking a bassa luminosita')
- $|\eta| < 2.4$  e  $P_t > 18$  GeV per entrambi gli elettroni
- L'accettanza del calorimetro em divisa in regioni e generata una 'decalibrazione' all' 1.5% rms.
- Dopo l'intercalibrazione si riesce a riportare il termine costante globale  $0.5\% \oplus 0.3\% \approx 0.7\%$



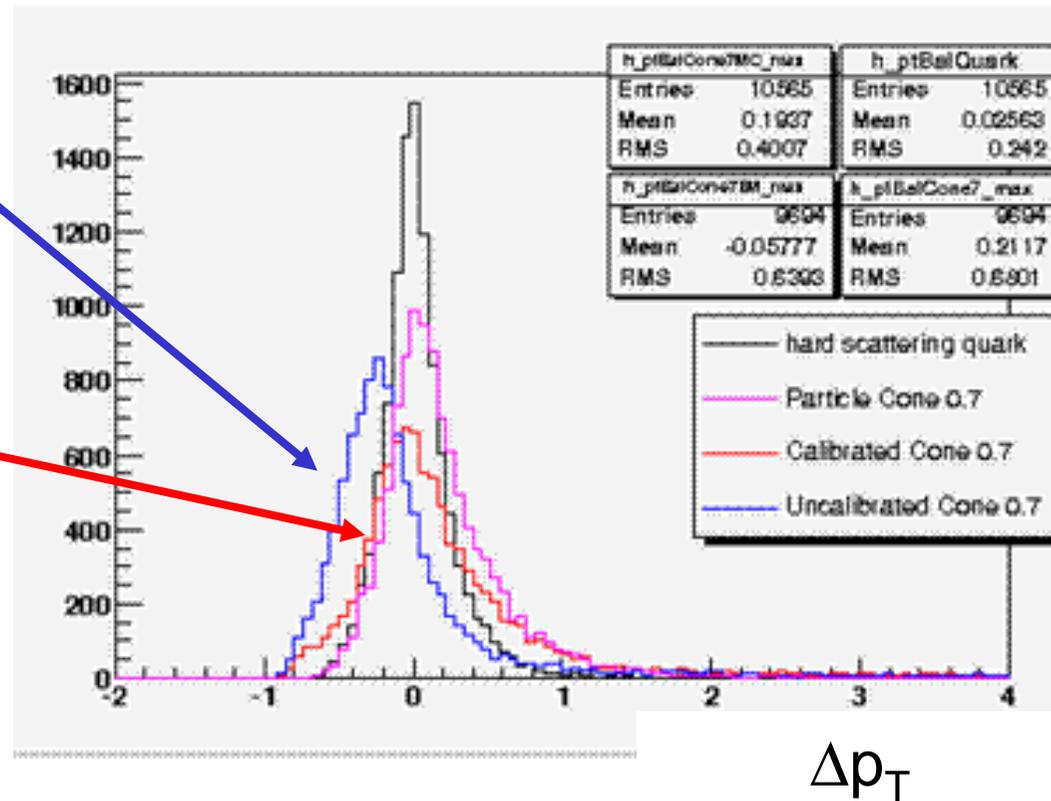
## ATLAS: Calibrazione dei jets in situ $\gamma$ +jet:

$$\Delta p_T = \frac{pT_{jet} - pT_{\gamma}}{pT_{\gamma}}$$

First step in using  $\gamma$ +jet events will be to check MC/data consistency at EM and HAD scale. Then we will go to  $p_T$  balance requirements...

EM Scale  
20 % off

HAD Scale  
6 % off



C. De Luca – Rome Workshop

# ATLAS: Calibrazione dei jets in situ Z+jet:

Studio con fast simulation

La calibrazione si ottiene imponendo :

$$Z + \text{jet} \rightarrow \mu\mu + \text{jet}$$

verificata solo approssimativamente per la presenza di ISR

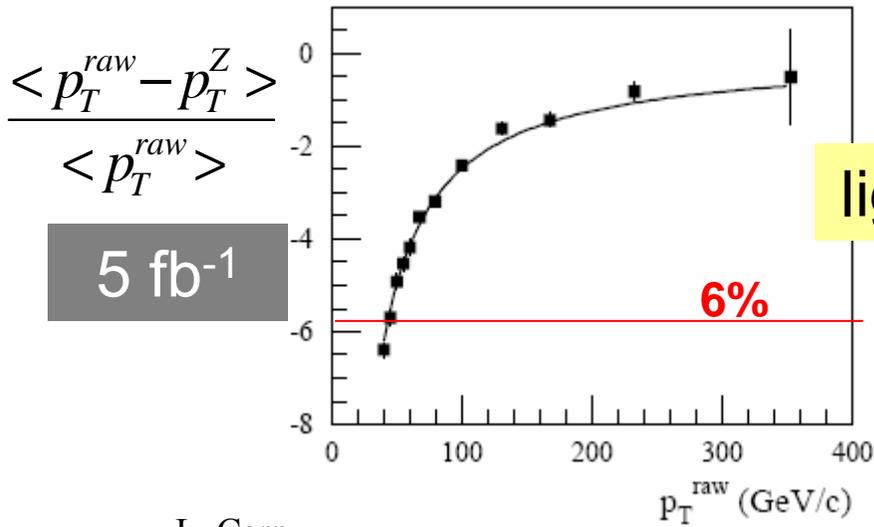
$$p_T^Z \cong p_T^{\text{jet}}$$

Efficienza per la selezione degli eventi 10%

30% running efficiency

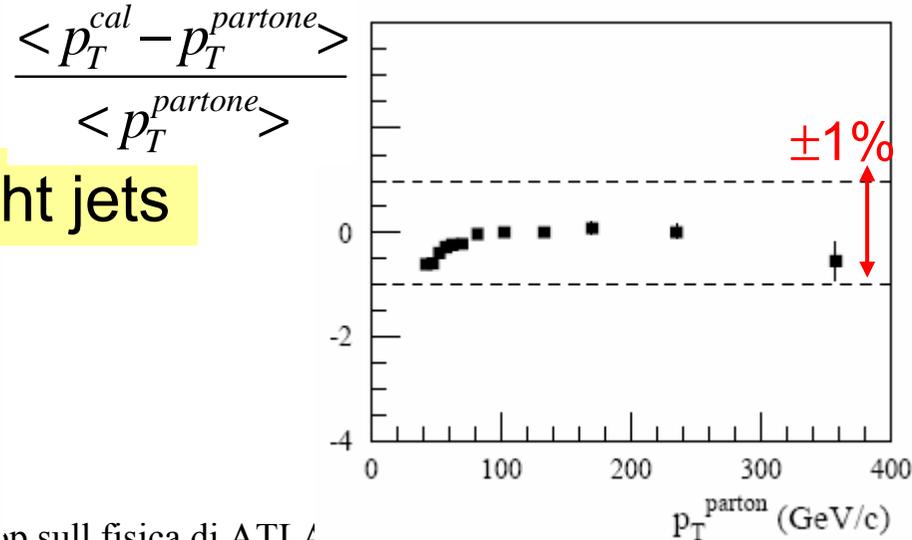
in 1 mese si hanno circa 30000 Z+jet nel barrel ( $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ )

Prima della calibrazione



light jets

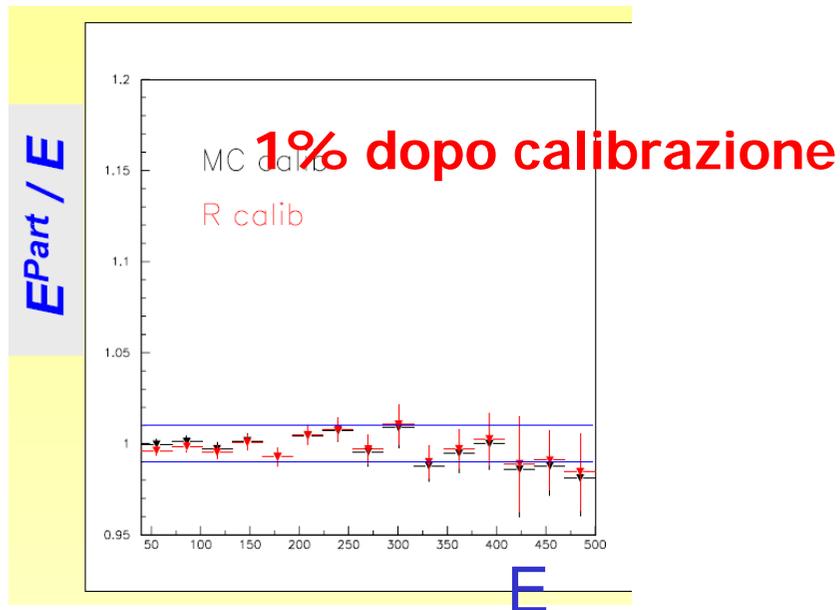
Dopo la calibrazione



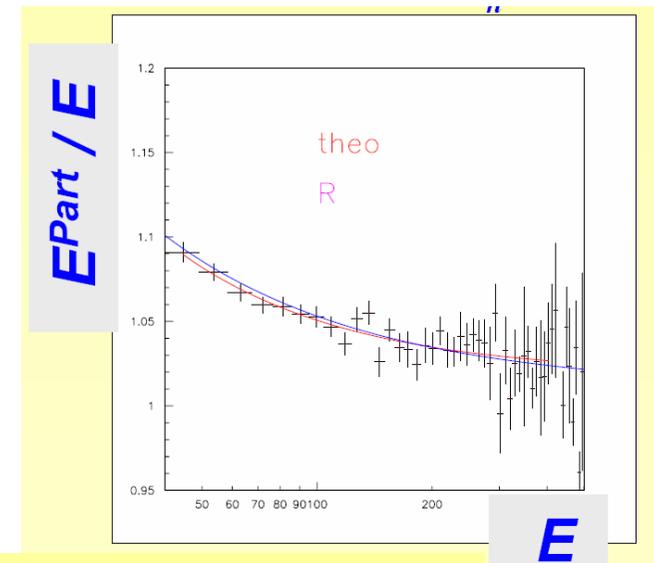
## ATLAS: Calibrazione dei jets in situ $W \rightarrow JJ$ :

Alla partenza di LHC la scala dei jet puo` essere studiata con eventi  $W \rightarrow \text{jet jet}$  :

- $W$  prodotti nel decadimento di coppie  $t\bar{t}$ ;
- 15000  $t\bar{t}$  con 4 Jets  $> 40$  GeV / giorno a  $L=10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ ;
- in 1 settimana 10000  $W$  raccolti con  $p_t$  40-140 GeV



L. Carminati - P. Govoni



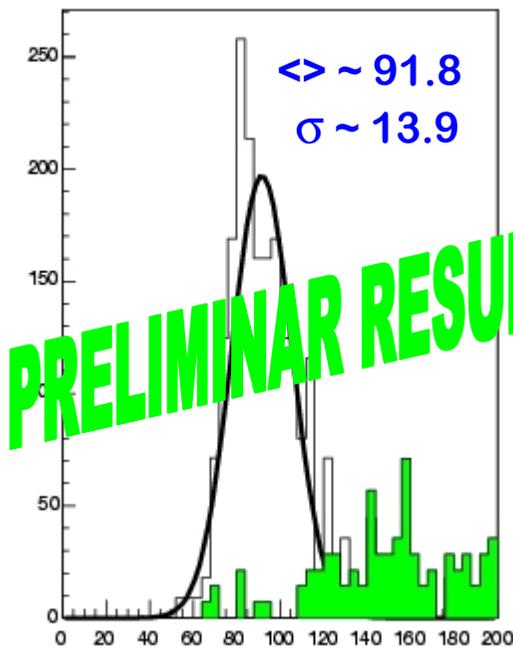
III Workshop sull fisica di ATLAS-CMS

35

# ATLAS: Calibrazione dei jets in situ $Z \rightarrow \tau\tau$ (lepton-hadron channel)

⇒ Expected ~ 2000 evts for signal in mass bin (66-116 GeV) with ~ 5% (+/-5% !!) background (W+jets) for an integrated luminosity of  $10 \text{ fb}^{-1}$  applying TDR cuts

## $\tau\tau$ invariant mass for Signal and Background



### Applied TDR cuts :

$pt(\text{jet}) > 30 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$

$pt(\text{lep}) > 16 \text{ GeV}, |\eta| < 2.5$

$1.8 < \Delta\phi < 2.7$  or  $3.6 < \Delta\phi < 4.5$

$m_{\tau}(\text{lept-pTmiss}) < 25 \text{ GeV}$

$pT_{\text{miss}} > 18 \text{ GeV}$

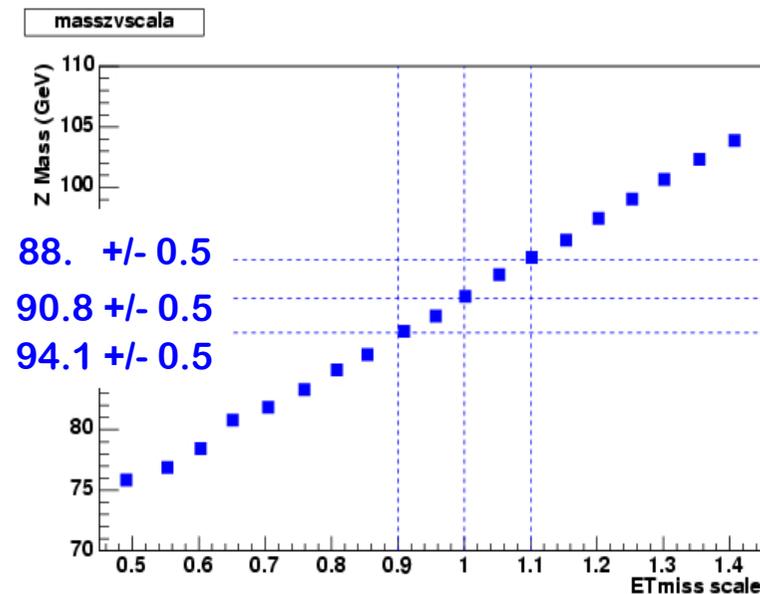
$\tau$ -likelihood  $> 8$  ( $\tau$ -eff ~ 30%)

(TDR  $\tau$ -eff ~ 20%)

No lept isolation

No b-tagging

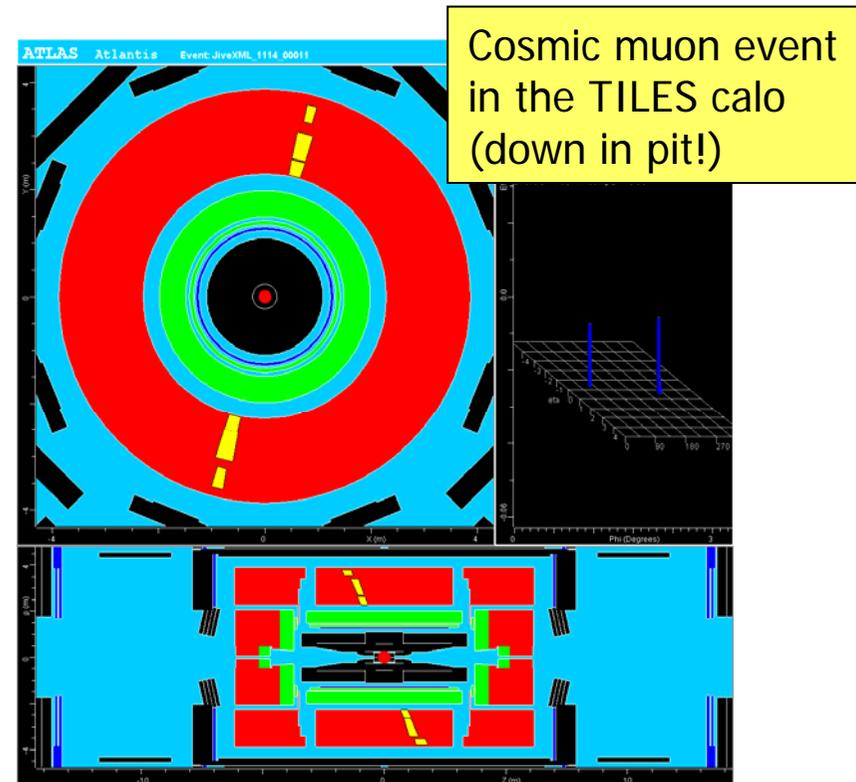
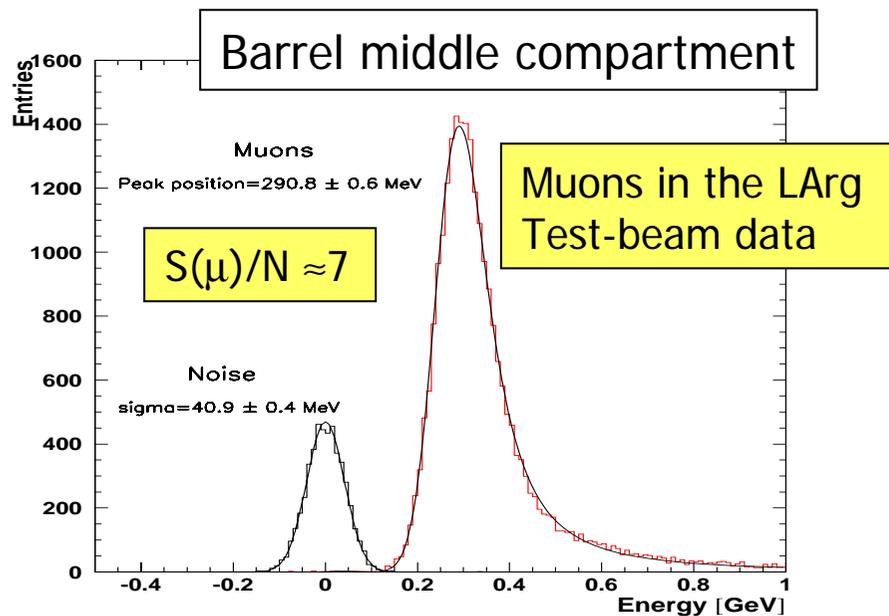
No retuning of TDR cuts



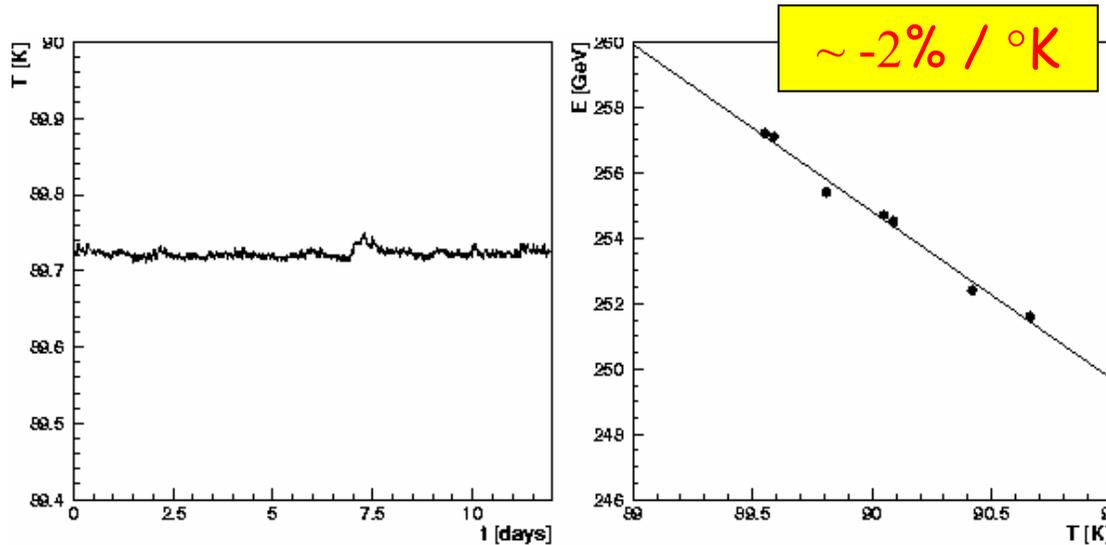
A variation of +/- 10 % of the EtMiss scale results in a shift of about 3% of the measured  $Z^0$  mass

# Commissioning with cosmics (barrel)

- Enough for initial detector shake-down (catalog problems, gain operation experience, some alignment/calibration, detector synchronization, ...)
- Over 3 months assuming 50% data taking efficiency  $\sim 100 \mu/\text{cell}$  (with  $|z| < 30 \text{ cm}$  and  $E_{\text{cell}} > 100 \text{ MeV}$ ) can be collected over  $|\eta| \leq 1$  and 70 % of  $\phi$  coverage
- From studies with test-beam muons: can check (and correct) calorimeter response variation vs  $\eta$  to 0.5% ( $\sim 0.25\%$  required): already a good starting point



# Testbeam results: stability:

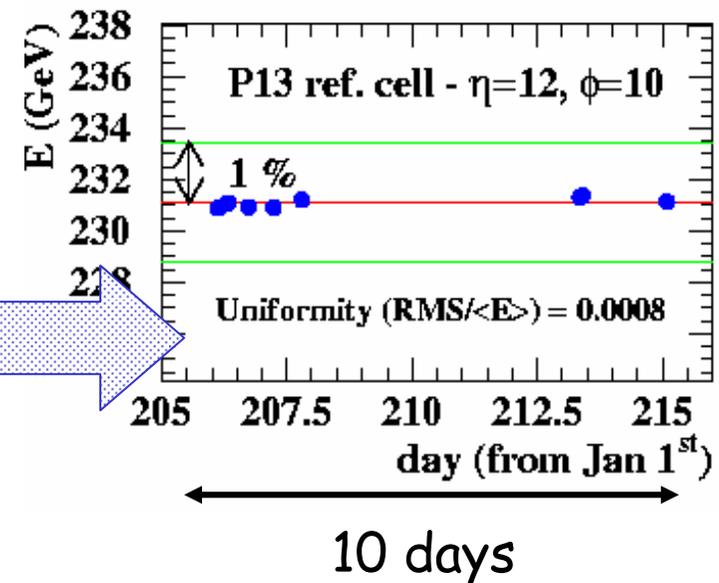


The temperature dependence of the physics signal is due to:

- Argon density vs T :  $-0.45 \text{ \%/}^\circ\text{K}$
- Drift velocity vs T :  $-1.55 \text{ \%/}^\circ\text{K}$

A reference cell has been shot during all testbeam period

Stability over 10 days  $\sim 0.08 \%$

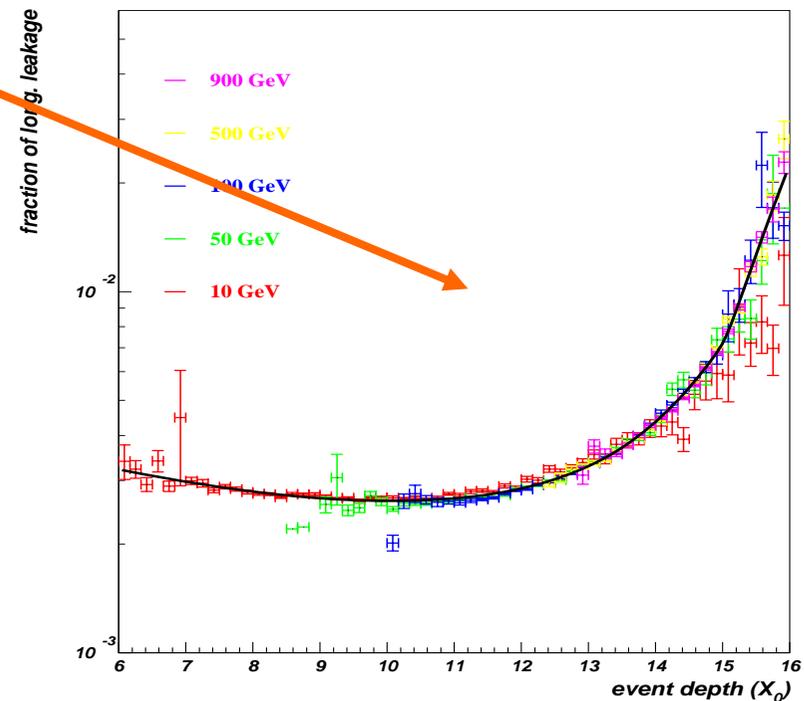
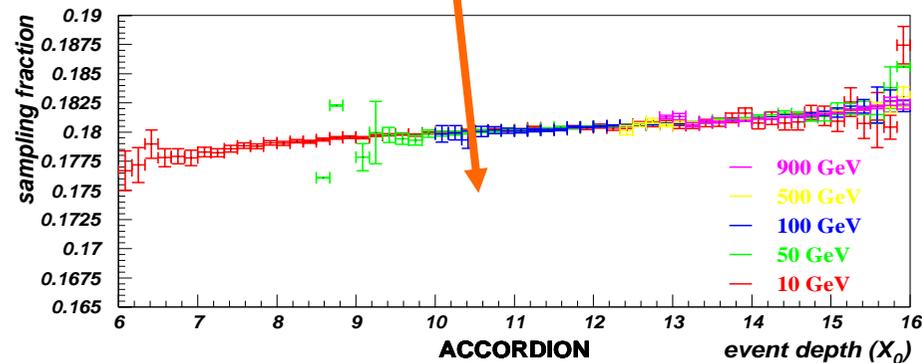


# The ATLAS em calorimeter design : calibration

Calibration coefficients can be parametrized as a function of the shower depth so that they become energy independent!

□ Longitudinal leakage % as a function of the shower depth

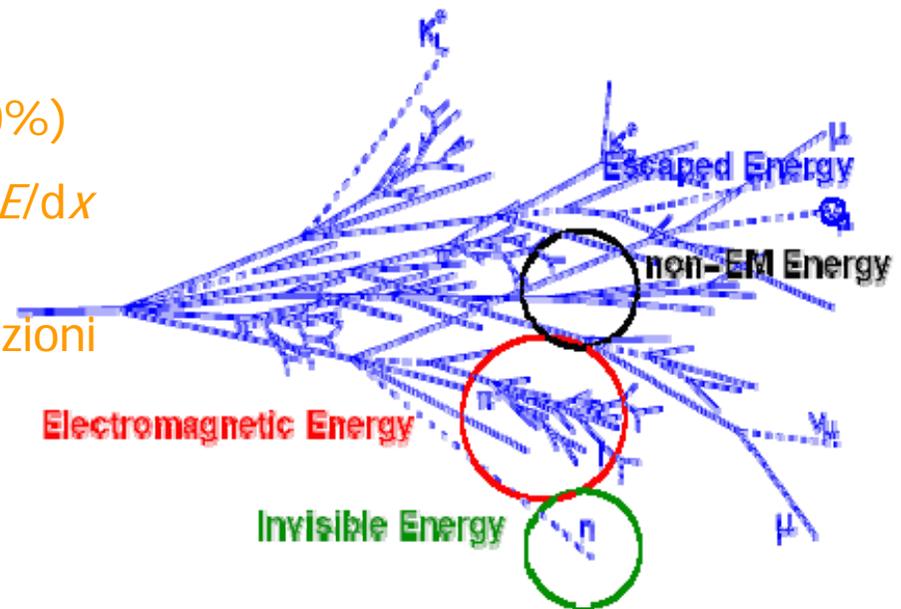
□ Intrinsic response of the calorimeter (*sampling fraction*) as a function of the shower depth



## Ricostruzione di adroni e jets

### Uno sciame adronico consiste di:

- Energia elettromagnetica: (es.  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ) O(50%)
- Energia visibile non elettromagnetica (es.  $dE/dx$  from  $\mu^\pm$ ,  $\pi^\pm$  etc.) O(25%)
- Energia invisibile: rottura dei nuclei e eccitazioni nucleari O(25%)
- Escaped energy: (neutrini) O(2%)



### Piu' sorgenti di problemi (wrt em):

- le frazioni cambiano con l'energia: l'energia invisibile decresce con l'energia dell'adrone  $\rightarrow$  non linearita' e con grandi fluttuazioni  $\rightarrow$  risoluzione
- La calibrazione adronica deve tener conto dell'energia invisibile e dell'escaped energy

### Ricostruzione dei Jets:

- Ulteriore grado di complicazione: risonoscimento, algoritmi di ricostruzione...

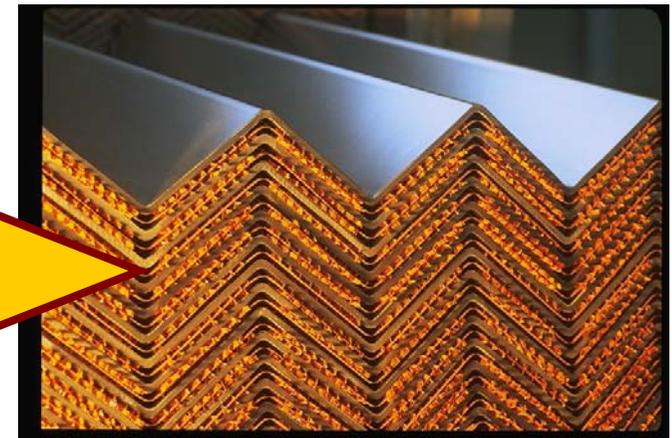
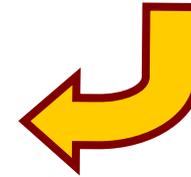
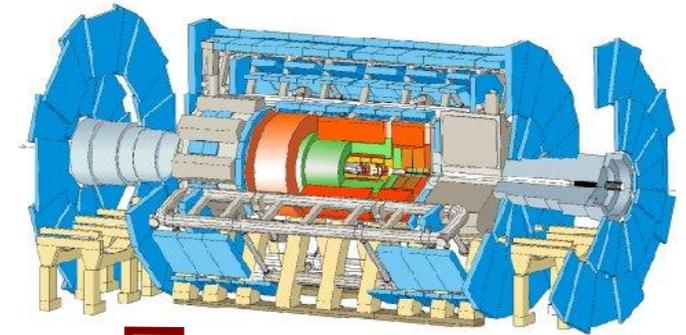
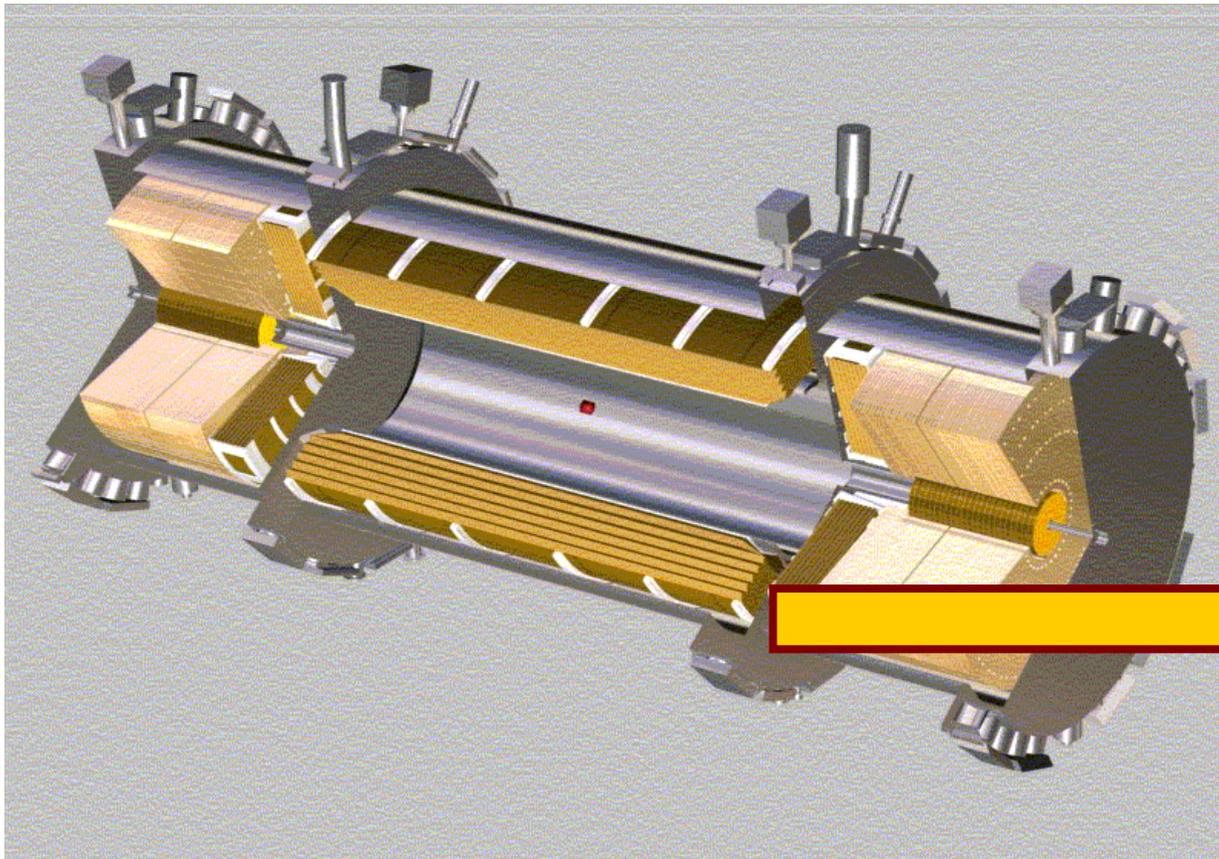
## Intercalibration using $Z \rightarrow ee$ events:

---

- ❑ The local constant term should be of the order of  $\approx 0.5\%$  (mechanics, electronics...) in each  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.4$  region (tot 440 regions)
- ❑ Expected rms miscalibration between different regions  $\leq 1.5 \%$
- ❑ Long range non-uniformity correction: intercalibration of different calorimeter regions using  $Z \rightarrow e^+e^-$
- ❑ Calibration using  $Z$  reduces the global constant term to  $\approx 0.7 \%$  in a few days of nominal conditions data taking

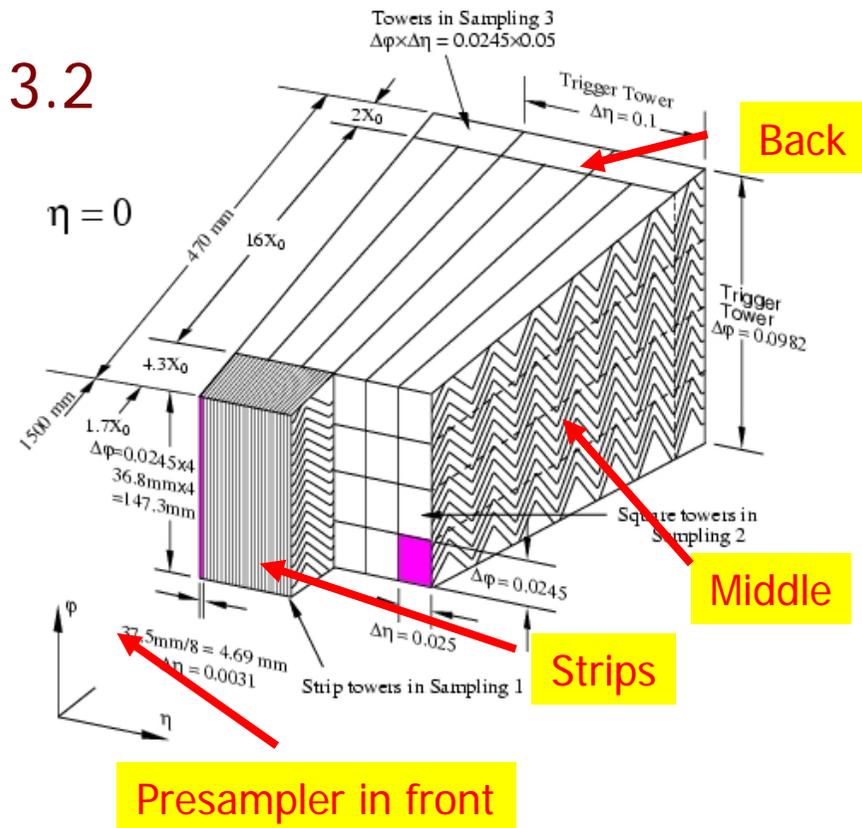
## The ATLAS calorimeters design

The ATLAS electromagnetic calorimeter is a lead-liquid Argon sampling calorimeter with an accordion geometry



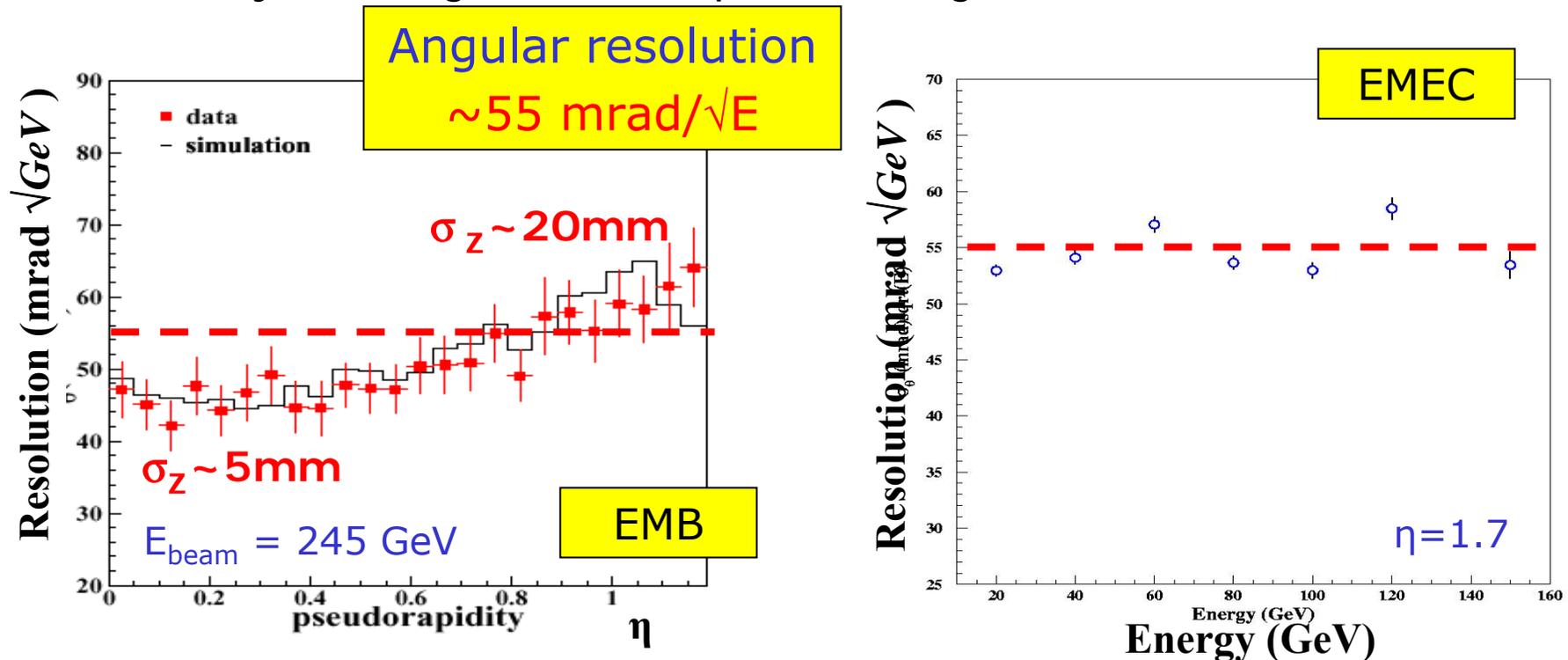
## The ATLAS em calorimeter design

- ❑ Full azimuthal coverage
- ❑ Pseudorapidity coverage  $0 < |\eta| < 3.2$
- ❑ Longitudinal segmentation
- ❑ Presampler to recover energy lost in the upstream material  $\approx 2X_0$
- ❑ High granularity: 200000 read out channels
- ❑ Electronic calibration



## Calorimeter performance: position resolution

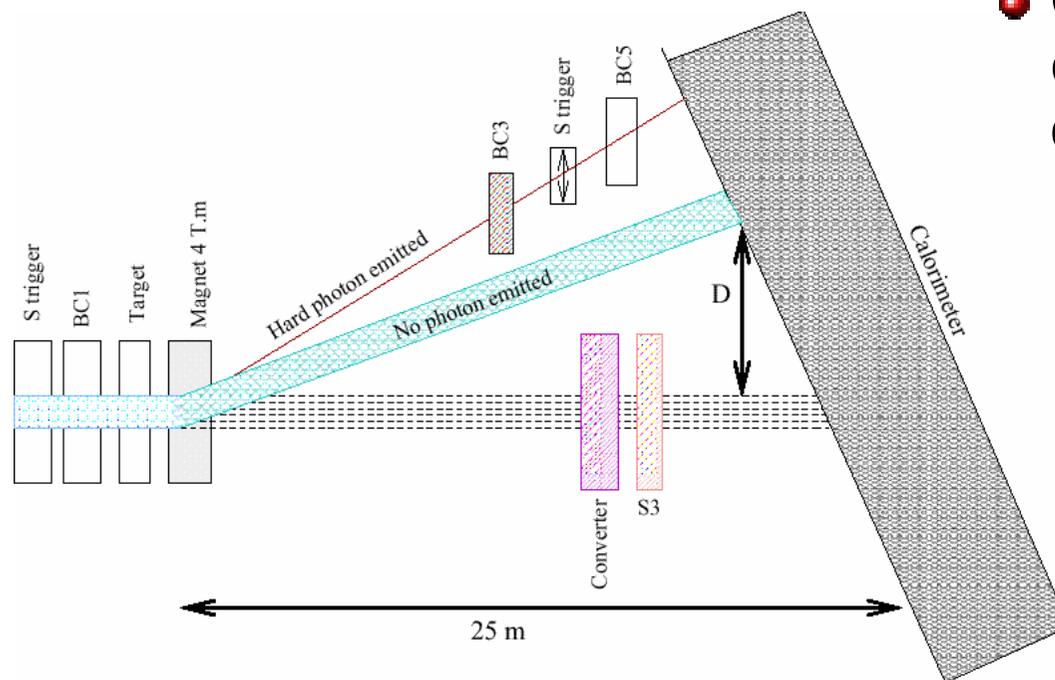
- The combination of S1 and S2  $\eta$  position measurements with longitudinal shower barycentres gives an independent angular information...



- $H \rightarrow \gamma\gamma$  vertex reconstructed with  $< 20 \text{ mm}$  accuracy
- LHC interaction point :  $\sigma_z \sim 56 \text{ mm}$

## Calorimeter performance: $\gamma/\pi^0$ separation

- ❑ Reducible background to  $H \rightarrow \gamma\gamma$  is faked photon from **jet-jet** ( $\gamma$ -jet) events with a typical rate larger by  $10^6$  ( $10^3$ )
- ❑ S1 (strips) section depth has been designed to reject jets with leading  $\pi_0$  (strips fine segmentation:  $\Delta\eta = 0.025/8 \cong 5$  mm)
- ❑ A dedicated setup has been used to produce  $\gamma$  in H8 beam line



- Cover 5-70 GeV spectrum with different beam energy and magnet current

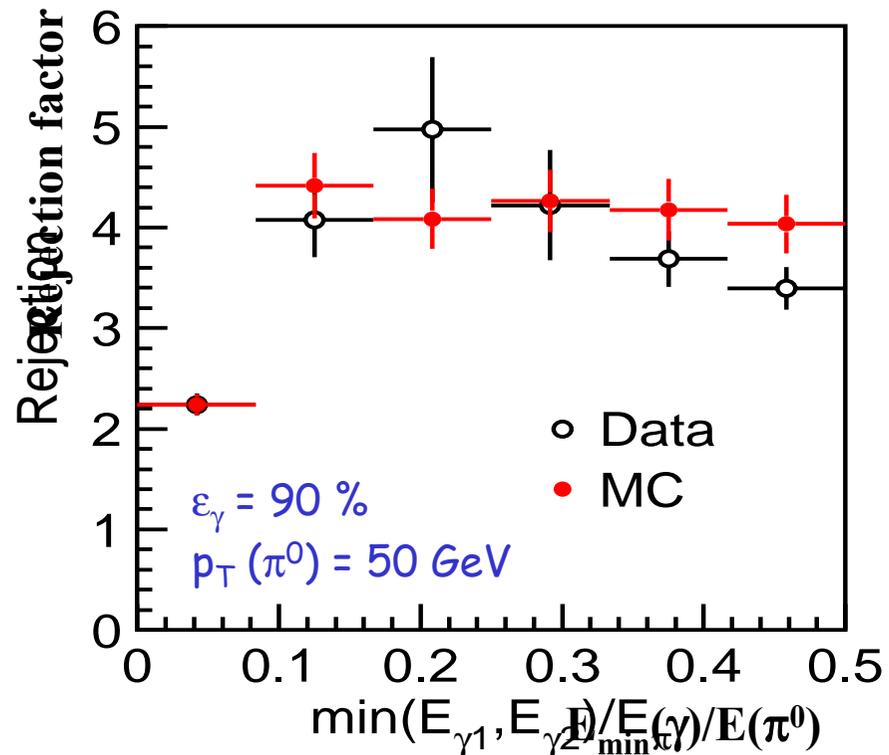
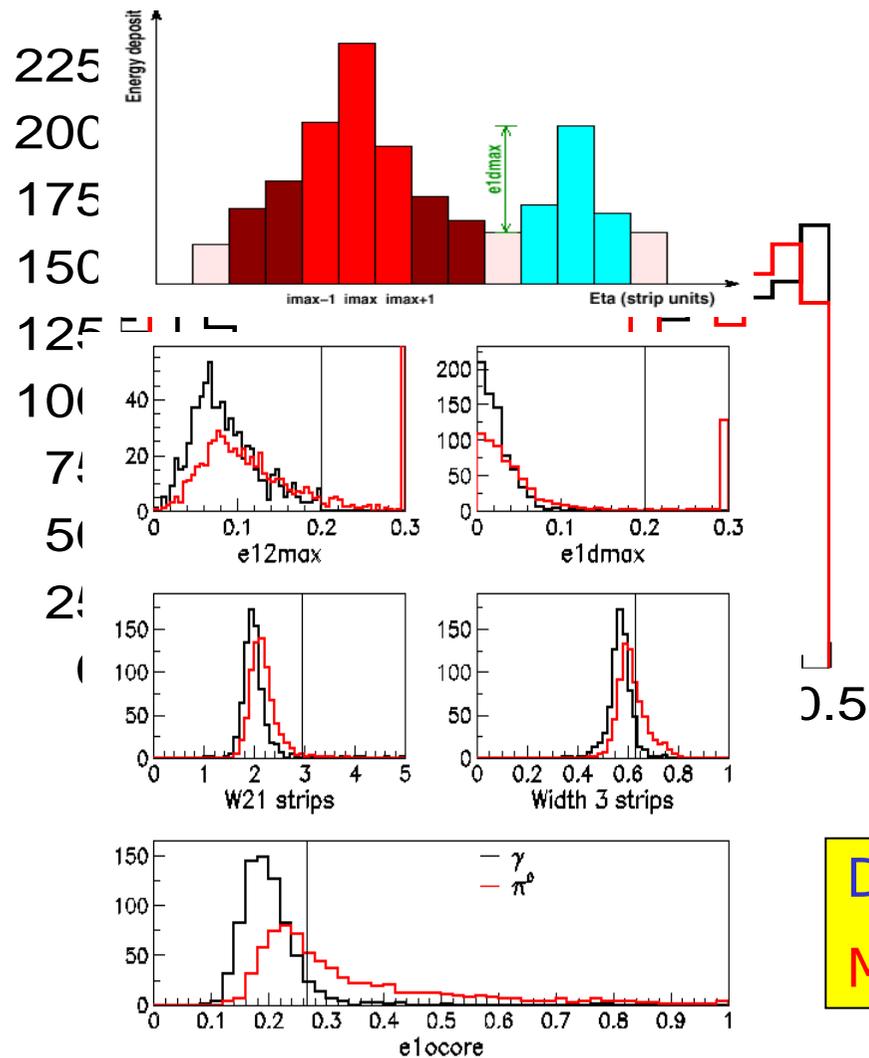
- Superimpose 2  $\gamma$  events to simulate  $\pi_0$  with 50 GeV  $P_T$

Data:  $\langle R \rangle = 3.54 \pm 0.12$

MC:  $\langle R \rangle = 3.66 \pm 0.10$

$\sim 84\%$  single photon

# Calorimeter performance: $\gamma/\pi^0$ separation

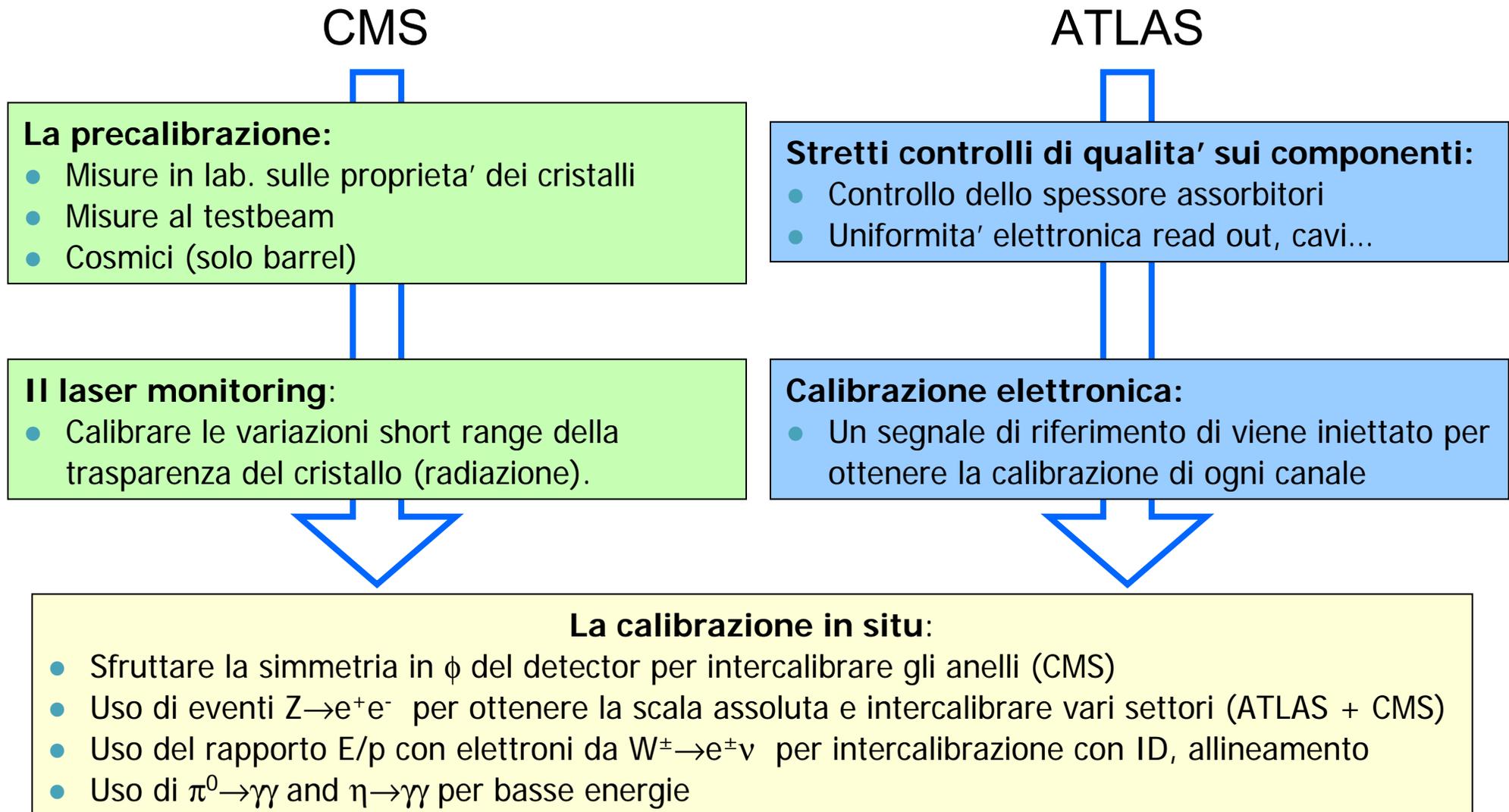


Data:  $\langle R \rangle = 3.54 \pm 0.12$

MC:  $\langle R \rangle = 3.66 \pm 0.10$

$\sim 84\%$  single photon

## Strategie per la calibrazione elettromagnetica



## Strategie per la calibrazione adronica:

---

### **Definizione scala elettromagnetica e equalizzazione**

- misure con sorgenti radioattive
- misure con laser e LED
- misure su testbeam

### **monitoring in situ con laser e LED:**

- segue il cambiamento in guadagno dei fotomoltiplicatori

### **monitoring con sorgenti radioattive:**

- tutti i canali ricalibrati durante periodi di shut-down: per CMS alcuni layer ricalibrati anche durante la presa dati

### **Controllo della scala elettromagnetica in situ:**

- Muoni singoli adroni jets

### **Controllo della scala adronica in eventi di singola traccia:**

- eventi di minimum bias, singoli adroni da decadimenti di tau e jet

### **Calibrazione in situ con jet:**

- ricostruzione della massa di W da eventi  $t\bar{t}$  nel canale  $W\rightarrow jj$
- studio di eventi  $\gamma$ +jet, Z+jet ed QCD dijets events (pt Balance)

## Il calorimetro adronico di CMS (HCAL): la calibrazione

---

$$E_j^{calib} = E_j^{raw} c_j^k(E_j^{raw}, \eta)$$

- Per **equalizzare la risposta di tutte le mattonelle di scintillatore** rispetto ad una scala di energia assoluta,
- si calcolano i coefficienti di calibrazione  $c_j^k$
- I **coefficienti di calibrazione dipendono da:**
  - energia misurata
  - la coordinata  $\eta$
  - l'algoritmo di ricostruzione utilizzato
- **diversi canali di fisica** sono associati a coefficienti di calibrazione differenti
  - jet
  - $E_T$  miss
  - particelle isolate
- I coefficienti di calibrazione devono garantire una **ricostruzione energetica indipendente dal tempo**
- I coefficienti di calibrazione devono determinare sia la **scala energetica** che **l'inter-calibrazione** del rivelatore

# calorimetria elettromagnetica

2-3% EB dopo  
cosmics, TB e lab

1% dopo la  
calibrazione  
elettronica

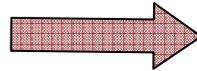
The starting point

## The in situ calibration:

- Exploit the  $\phi$  symmetry of the detector and intercalibrate rings
- Use the Z mass peak for electrons from the  $Z \rightarrow e^+e^-$  channel for the absolute calibration
- Use the E/p ratio for electrons from the  $W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$  channel for the inter-calibration
- Use  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  and  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  channels at low energy



2% in pochi giorni



0.3% in pochi giorni

1% in pochi giorni



0.4% - 1.3%  
in 5 fb<sup>-1</sup>

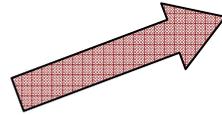
# calorimetria adronica

## Calibrazione del rivelatore muoni (cosmici, beam halo)

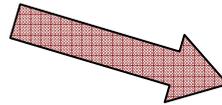
- eventi di minimum bias
- eventi di singoli adroni

## Calibrazione dei jet

- ricostruzione della massa di  $W$  dal canale  $W \rightarrow jj$
- studio del rinculo di jet su  $\gamma$
- studio del rinculo di  $j$  su  $Z$



- radiografia immediata dei calorimetri con beam halo
- 2% in poche ore con minimum bias
- 30% - 10% in poche settimane con pioni isolati



- l'effetto combinato dei vari canali permette di raggiungere un insieme di curve e coefficienti di calibrazione stabile in breve tempo
- dopo l'allineamento del sistema di tracking, la risoluzione migliora sensibilmente (di un fattore 1.7 a basse energie, del 15% a 100 GeV) e ci sono miglioramenti significativi sulla scala di masse, sostituendo le misure del tracker per le particelle cariche

*studi preliminari*

# l'impegno italiano nella calibrazione

---

- lab pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca, Roma, Torino
- TB pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca, Roma, Torino
- comsics pre-calibrazione ECAL: Milano-Bicocca
- calibrazione in-situ ECAL: Milano-Bicocca, Roma
  
- FUTURO (2006): TB combinato ECAL + HCAL

- calibrazione elettronica EM: Milano
- calibrazione in-situ EM: Milano
- calibrazione in-situ HAD: Pisa

### uno spunto: la calibrazione in situ dei rivelatori

- CALORIMETRI ELETROMAGNETICI: cruciale da subito ( $H \rightarrow \gamma\gamma$ )
- CALORIMETRI ADRONICO: energia dei jet e missing  $E_T$  per SUSY ed altro canali di ricerca